



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA

DEPARTAMENTO DE PRODUCCIÓN VEGETAL

**Implicaciones de *Amblyseius swirskii* Athias-Henriot
(Acari: Phytoseiidae) en la mejora del control biológico
de *Bemisia tabaci* Gennadius (Hemiptera: Aleyrodidae)
en el cultivo de pimiento en invernadero.**

Francisco Javier Calvo Robles

Director

Dr. José Eduardo Belda Suárez

Director

Dr. Pablo Bielza Lino

2011



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA

AUTORIZACIÓN DE LA PRESENTACIÓN DE LA TESIS DOCTORAL
POR EL DIRECTOR/A

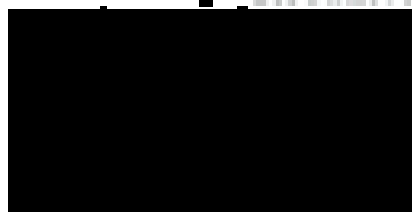
D. Pablo Bielza Lino Profesor Doctor de Área de Producción Vegetal en el Departamento de Producción Vegetal, y Dr. D. José Eduardo Belda Suárez, Director del Departamento de Investigación y Desarrollo de Koppert España S.L.

AUTORIZAN:

La presentación de la Tesis Doctoral titulada "Implicaciones de *Amblyseius swirskii* Athias-Henriot (Acarí: Phytoseiidae) en la mejora del control de *Bemisia tabaci* Gerstadius (Hemiptera: Aleyrodidae) en cultivo de pimiento en invernadero" realizada por D. Francisco Javier Calvo Robles bajo nuestra dirección y supervisión, y que presenta para la obtención del grado de Doctor por la Universidad Politécnica de Cartagena.

En Cartagena, a 22 de septiembre de 2010

LOS DIRECTORES DE TESIS



Fdo.: Pablo Bielza Lino



Fdo.: José Eduardo Belda Suárez



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA

Comisión de Doctorado

MD-09

**AUTORIZACIÓN DE LA PRESENTACIÓN DE LA TESIS DOCTORAL
POR LA COMISIÓN ACADÉMICA RESPONSABLE DEL PROGRAMA**

D. Marcos Egea Gutiérrez-Cortines, Coordinador de la Comisión Académica del Programa
Técnicas Avanzadas de Investigación y Desarrollo Agrario y Alimentario

INFORMA:

Que la Tesis Doctoral titulada “Implicaciones de *Amblyseius swirskii* Athias-Henriot (Acari: Phytoseiidae) en la mejora del control de *Bemisia tabaci* Gennadius (Hemiptera: Aleyrodidae) en cultivo de pimiento en invernadero”, ha sido realizada por D. Francisco Javier Calvo Robles bajo la dirección y supervisión de D. Pablo Bielza Lino y D. José Eduardo Belda Suárez, y que la Comisión Académica ha dado su conformidad para que sea presentada ante la Comisión de Doctorado.

En Cartagena, a 22 de Agosto de 2010

EL COORDINADOR DE LA COMISIÓN ACADÉMICA DEL PROGRAMA

Fdo.: Marcos Egea Gutiérrez-Cortines



Comisión de Doctorado

A los míos

Agradecimientos

Ha sido largo el camino como estudiante hasta llegar aquí. En el recuerdo queda ya toda la andadura realizada desde su inicio con el primer día de colegio con apenas unos pocos años hasta su final con la superación del último examen de la carrera ya con veintitantos. Este camino me ha servido, como a tantos otros, para forjar las bases que me han permitido iniciar mi etapa profesional, etapa que por diversas casualidades o jugadas del destino llevo dedicando a la investigación en el campo del control biológico. Destacar que han sido muchas las alegrías que me han dado los diferentes trabajos realizados durante este tiempo fruto de los resultados cosechados durante su ejecución. Espero poder seguir afrontando nuevos retos en este campo puesto que el dinamismo y vanguardismo unidos a esa pizca de incertidumbre y creatividad que rodea todo trabajo de investigación son un gran aliciente que mantienen viva la motivación y el impulso necesarios para realizar cualquier tipo de actividad y que yo encuentro en esta. Esta tesis es una muestra del trabajo desarrollado durante este tiempo y que para mí, por sus importantes repercusiones posteriores, ha sido todo un orgullo poder realizar. Pero como decía anteriormente este ha sido un largo camino y con las siguientes frases quiero intentar agradecer a todos aquellos que me he encontrado a lo largo de su recorrido y que de una manera u otra me han ayudado a llegar hasta aquí, de corazón, gracias a todos vosotros.

En primer lugar a mis padres, a quien debo todo y en quienes he encontrado siempre aliento, consejo y apoyo. Con la consecución de este trabajo espero recompensaros, aunque ya sé que solo podrá ser en parte, todo el esfuerzo, dedicación y sacrificio que habéis tenido que realizar para permitirme poder llegar aquí.

También a mi hermana, con quien aunque a veces, o mejor dicho, muchas veces discrepo y discuto, cosas de hermanos... pero que siempre ha tenido un consejo para mí cuando lo he necesitado e incluso cuando no se lo he pedido. Como no, también porque sé que siempre cuento con su apoyo y cariño.

A mis amigos, con los que tanto y tan bueno he pasado. Juntos hemos atravesado muchas etapas y fases de nuestra vida y hemos compartido las vivencias al enfrentarnos por primera vez a multitud de cosas. Y aunque las circunstancias que nos rodea a cada uno nos hace perder a veces un poco el contacto, cada vez que nos reencontramos parece que fue ayer la última vez que estuvimos juntos.

A José Eduardo Belda, a quien mi agradecimiento es doble. En primer lugar agradecerle su dirección de esta tesis. Pero sin embargo, quiero agradecerle ante todo

RESUMEN

La mosca blanca *Bemisia tabaci* Gennadius (Hemiptera: Aleyrodidae) es una plaga clave en pimiento para cuyo control se han empleado tradicionalmente agentes de control químico, dejando otras técnicas como el control biológico en un segundo plano.

Sin embargo, la disminución en los últimos años del número de agentes de control químico que pueden ser empleados frente a esta y otras plagas ha despertado el interés por otras medidas de control, en especial por el control biológico.

Para el control biológico de *B. tabaci* se utiliza el parasitoide *Eretmocerus mundus* Mercet (Hymenoptera: Aphelinidae). Este se emplea siguiendo una estrategia de tipo aumentativa realizando introducciones periódicas que suelen iniciarse tras la detección de la plaga en el cultivo.

Dicha estrategia se refuerza en caso necesario con la aplicación de plaguicidas selectivos, ha dado buenos resultados en zonas productoras como el Campo de Cartagena en Murcia. Sin embargo, en Almería donde la presión de la plaga es mucho más elevada, esta estrategia se ha mostrado en muchos casos ineficaz. Ello ha propiciado que el control biológico no se viera como una alternativa fiable desde el punto de vista de los productores con respecto al control químico convencional. Este problema planteó la necesidad de buscar nuevas alternativas que venga a fortalecer los programas de control integrado/biológico y que por tanto los posicionen como una alternativa totalmente fiable frente al control químico.

Como respuesta, en los últimos años se han realizado diversos proyectos de investigación en los que se han probado nuevos agentes de control biológico. Entre estos encontramos los llevados a cabo con depredadores como *Coenosia attenuata* Stein (Diptera: Muscidae) o *Nesidiocoris tenuis* Reuter (Heteroptera: Miridae), enemigos naturales que por unas u otras causas no han ofrecido unos resultados óptimos y que por tanto no han podido ser utilizados con éxito en los invernaderos comerciales de pimiento.

Sin embargo, dichos proyectos también pusieron de manifiesto que el ácaro depredador *Amblyseius swirskii* Athias-Henriot (Acari: Phytoseiidae) tenía un elevado potencial como agente de control biológico de *B. tabaci*, merced a su elevada tasa de crecimiento al alimentarse de esta presa. Además, estos mismos estudios revelaron que este fitoseido era capaz de controlar de forma eficaz poblaciones de *B. tabaci* en laboratorio en plantas aisladas de pepino.

Todo ello motivó la puesta en marcha del presente trabajo, en el que a partir de una serie de experimentos de semicampo y campo se han estudiado las posibilidades de *A. swirskii* como agente de control biológico de *B. tabaci* en pimiento. Además, se han comprobado las implicaciones que podría tener su inclusión en los programas de control biológico de plagas de este cultivo con respecto a la estrategia basada en el empleo de *E. mundus*.

Como primer paso de este proyecto, y partiendo de los estudios previos de laboratorio, se realizó un estudio de semicampo. En este primer experimento se compararon dos dosis de suelta del ácaro depredador (25 y 100 ácaros/m²) frente a un tratamiento control sin introducción del fitoseido. El objetivo fue, por un lado, estudiar la capacidad del depredador para establecerse en pimiento utilizando a *B. tabaci* como presa y por otro, evaluar la capacidad de control del fitoparásito. Todo ello para obtener una primera aproximación de su dosis de suelta operativa para cultivos comerciales de pimiento. Este experimento reveló que *A. swirskii* era capaz de establecerse perfectamente en pimiento, controlando además de forma eficaz a *B. tabaci* con las dos dosis de suelta evaluadas.

Una vez demostrada la capacidad de *A. swirskii* para establecerse en el cultivo y conociendo una dosis de suelta orientativa, se realizaron dos nuevos ensayos de semicampo. El objetivo del primero de ellos fue seleccionar, de entre diferentes estrategias comparadas y utilizando como base la estrategia de control biológico estándar, aquella más eficaz frente a *B. tabaci*. La eficacia relativa de dichas estrategias fue comparada simulando un escenario con una infestación de *B. tabaci* gradual y fuerte. Las estrategias evaluadas fueron: 1) *E. mundus* (Control); 2) *E. mundus* + *N. tenuis*; 3) *E. mundus* + *A. swirskii*; 4) *E. mundus* + *A. swirskii* + *N. tenuis*. Este estudio reveló que la mejor combinatoria sería *E. mundus* + *A. swirskii*, ya que la adición del fitoseido incrementó de forma significativa la eficacia frente a la plaga con respecto a la estrategia basada solo en la introducción del parasitoide. Además, el experimento reveló que la inclusión de *N. tenuis* no sería necesaria, puesto que no incrementó de forma significativa la eficacia.

Durante el segundo de los experimentos se intentó mejorar la eficacia de la combinatoria *A. swirskii* + *E. mundus* mediante la aplicación de plaguicidas antes de la introducción de los enemigos naturales. Para ello se compararon los tratamientos siguientes: 1) *E. mundus*; 2) *E. mundus* + *A. swirskii*; 3) *E. mundus* + *A. swirskii* +

Plaguicidas. De nuevo, la eficacia relativa de dichas estrategias fue comparada frente a un escenario en el que se simuló una infestación de *B. tabaci* gradual y fuerte. El estudio demostró de nuevo que la inclusión de *A. swirskii* incrementaba de forma significativa la eficacia, pero además puso de manifiesto que la aplicación de plaguicidas antes de la introducción de los enemigos naturales la incrementaba aún más, sin que se observara ningún perjuicio sobre la capacidad de control del depredador. De este modo, se demostró que la mejor estrategia de las aquí comparadas para el control de *B. tabaci* bajo las condiciones aquí estudiadas sería la introducción de *A. swirskii*, complementado con introducciones de *E. mundus* y la aplicación de plaguicidas antes de su introducción.

Una vez determinada cual podría ser la mejor de las estrategias frente a *B. tabaci* y habiendo estudiado bajo condiciones de semicampo la eficacia de *A. swirskii*, como último paso se realizaron dos estudios de campo. El objetivo de los mismos fue, además de estudiar el comportamiento de *A. swirskii* directamente en invernaderos comerciales de pimiento, evaluar también la posible mejora de programas MIP de pimiento frente a *B. tabaci* y *Frankliniella occidentalis* Pergande (Thysanoptera: Thripidae) al incorporar a este depredador. Para ello se realizó un estudio en Campo de Cartagena y otro en Almería, que son las principales zonas productoras de pimiento bajo abrigo en nuestro país. En él, en ambas zonas se compararon parcelas experimentales con y sin introducción de *A. swirskii*. El estudio vino a corroborar los resultados obtenidos en los estudios previos. En los invernaderos donde se introdujo el depredador se observaron niveles significativamente inferiores de *B. tabaci*. Además, fue capaz de establecerse perfectamente en el cultivo en las dos zonas productoras, siendo la especie de fitoseido más abundante en los invernaderos donde se introdujo. Sin embargo, la utilización de *A. swirskii* no mejoró la eficacia frente a *F. occidentalis*. Este fenómeno pudo deberse a su uso en combinación con el antocórido *Orius laevigatus* Fieber (Hemiptera: Anthocoridae), el cual se estableció perfectamente y pudo ejercer un control suficiente de las poblaciones de trips por sí mismo. Otro aspecto importante fue que en las parcelas tratadas con *A. swirskii* no fue necesaria la aplicación de plaguicidas frente a *B. tabaci* y se redujo la dosis de suelta de *E. mundus*, lo que redujo sensiblemente los costes del control de plagas.

Así pues, los resultados del presente trabajo han demostrado que los programas de manejo integrado de plagas (MIP), basados en el empleo de agentes de control biológico, pueden verse muy reforzados mediante la inclusión de *A. swirskii*. Dicha inclusión podría suponer en último término el posicionamiento de este método de

control como una alternativa eficaz al control químico convencional, dando respuesta además a la laguna existente de medidas de control eficaces como consecuencia de la reducción del número de materias activas disponibles.

Esto se ha demostrado por el reciente incremento, desde que *A. swirskii* comenzó a emplearse, de la superficie de cultivo de pimiento en la que se aplican programas MIP. Esta superficie ha pasado en Almería desde aproximadamente el 5 % en 2005 hasta prácticamente el 100 % en la actualidad. De este modo el presente trabajo, que ha servido como base para la incorporación de *A. swirskii* en los programas de control integrado y biológico, explica cómo la utilización de este depredador ha contribuido de forma decisiva a dicho incremento en los invernaderos de pimiento españoles, el cual podría tener su reflejo además en otras zonas productoras.

ABSTRACT

The tobacco whitefly, *Bemisia tabaci* Gennadius (Hemiptera: Aleyrodidae), is a major pest in sweet pepper crops. Traditionally pesticides have been used for its control and other control methods such as biocontrol have been neglected. However, in recent years the number of registered and effective pesticides against the whitefly has decreased. This has resulted in an increasing interest in other control methods, especially biological control-based IPM programs.

There are some known natural enemies for *B. tabaci* control of which the parasitic wasp *Eretmocerus mundus* Mercet (Hymenoptera: Aphelinidae) is the most important and widely used in Spain. This natural enemy is normally implemented augmentatively, i.e. carrying out regular releases after the appearance of the pest.

This approach supplemented with corrective applications of compatible pesticides when necessary has provided good whitefly control in cropping areas such as Campo Cartagena in Murcia. However, in Almeria where the pest pressure is much higher, this strategy has been ineffective in many cases. Thus, growers are not convinced about the reliability of the biological control and therefore they relied exclusively on pesticides for all their pest control needs. This makes necessary to look for new alternatives which improve biological control-based IPM programs and show that they are an effective alternative to chemical control.

In recent years some projects have been carried out to study the potential of several natural enemies as biological control agents of whitefly. Among the natural enemies tested are the predators *Coenosia attenuata* Stein (Diptera: Muscidae) and *Nesidiocoris tenuis* Reuter (Heteroptera: Miridae), but they did not provide effective biological control of whiteflies in practice in commercial sweet pepper greenhouses. However, these studies demonstrated that the predatory mite *Amblyseius swirskii* Athias-Henriot (Acari: Phytoseiidae) had a big potential as a biological control agent of *B. tabaci* because of its rapid population development on a diet of whitefly and its capability to suppress whitefly populations in cucumber in preliminary laboratory experiments.

These results motivated this study in which the role of *A. swirskii* as a biological control agent of whitefly for protected sweet pepper crops has been studied in comparison to the biological control-based IPM approach based on the use of the parasitic wasp *E. mundus*. This study includes three semi-field and two field experiments.

The first experiment was carried out under semi-field conditions and was focused on the study of the capability of *A. swirskii* to establish in sweet pepper and to control whitefly populations by evaluating two release rates of *A. swirskii* (25 and 100 *A. swirskii*/m²) and an untreated control without the predator under conditions similar to practice. Both evaluated release rates allowed the establishment of the predator and provided sufficient and similar control of the whitefly.

After the capability of *A. swirskii* to establish on sweet pepper preying upon whitefly was demonstrated in the first experiment a second study was carried out. Its objective was to improve the standard biological control-based IPM against whitefly for protected sweet pepper crops, based on the use of *E. mundus*, by assessing the roles of the predatory species *N. tenuis* and *A. swirskii* through two subsequent experiments. The first one (selection experiment) focused on finding the best combination of these beneficials to combat the pest under a worst case scenario of rapid whitefly immigration into a sweet pepper greenhouse and using the standard IPM system as a control. The second experiment (improvement experiment) focused on the improvement of this combination strategy again under a worst case scenario of rapid immigration into a sweet pepper greenhouse through the inclusion of pesticide applications prior to the release of natural enemies. In the selection experiment, four treatments were compared: 1) *E. mundus*, 2) *N. tenuis* + *E. mundus*, 3) *A. swirskii* + *E. mundus*, and 4) *A. swirskii* + *N. tenuis* + *E. mundus*. *Amblyseius swirskii* appeared to be able to significantly increase effectiveness against the pest, in contrast to *N. tenuis*, which did not contribute to whitefly control. The best strategy was the combination of *E. mundus* and *A. swirskii*. In the improvement experiment, three treatments were compared: 1) *E. mundus*, 2) *A. swirskii* + *E. mundus*, and 3) *A. swirskii* + *E. mundus* + pesticides. *Amblyseius swirskii* again proved capable of significantly reducing whitefly populations, and the use of pesticides before the release of the biocontrol agents was shown to increase the control even more. Therefore the most effective strategy of those tested in the current experiment against whitefly in sweet pepper was the combination of *A. swirskii* and *E. mundus* together with the use of specific pesticides against *B. tabaci* prior to release of the predatory mites.

The first two studies showed the capability of *A. swirskii* to establish in sweet pepper and which is the best combination to control whitefly. However, it had yet to be demonstrated that the addition of *A. swirskii* to the existing biological control system improves control of this pest in practice. This was done by carrying out two field experiments in commercial greenhouses in the two main Spanish sweet pepper

cropping areas, Campo de Cartagena and Almeria. These experiments also evaluated the role of *A. swirskii* in thrips control. At each location, several plots were designated to the standard biological control-based IPM method or this system supplemented by introductions of *A. swirskii*. *Amblyseius swirskii* established and reproduced well in the crop and was the most abundant phytoseiid species during the experiment in the plots where it was released. It also provided a significant reduction of the whitefly population and pest control costs compared to the greenhouses with the current IPM system. However, the addition of *A. swirskii* did not reduce thrips populations in respect to plots not receiving the predatory mite, presumably due to the combination with the anthocorid bug *Orius laevigatus* Fieber (Hemiptera: Anthocoridae) which established well and provided good control of the pest by itself. These results confirm previous observations and make the use of *A. swirskii* in IPM programs for sweet pepper crops advisable.

The results demonstrate that *A. swirskii* can be a valuable tool for biocontrol in commercial sweet pepper greenhouses and how it can be the key for improving and therefore to the extension of biological control-based IPM. It has been shown that biological control-based IPM programs are an effective alternative method to chemical control and therefore fill the gap caused by the lack of effective and registered pesticides against whitefly. This is demonstrated by the recent increase of the area under biological control from approximately 5% of the total area in 2005 to almost 100% of the total area more recently, which represent more than 6000 ha of protected sweet pepper crops, since *A. swirskii* is used in biological control-based IPM programs used in sweet pepper greenhouses in Almeria. Therefore, the data explain why the addition of *A. swirskii* to the IPM toolbox has greatly increased use of biologically-based management strategies in sweet pepper in Spain and would likely have the same effect in other production areas around the world.

CONCLUSIONES GENERALES

El presente trabajo ha evaluado las posibilidades del fitoseido depredador *Amblyseius swirskii* Athias-Henriot como agente de control biológico de *Bemisia tabaci* en pimiento, intentando ofrecer además unas bases para su integración en los programas de control biológico e integrado de este cultivo.

Los estudios realizados han demostrado la capacidad de este depredador para establecerse en pimiento directamente en invernaderos comerciales situados en las zonas de Campo de Cartagena (Murcia) y Almería (Andalucía).

Se ha comprobado que la liberación de *A. swirskii* incrementa de forma significativa la eficacia frente a *B. tabaci* con respecto a la estrategia basada exclusivamente en liberaciones del parasitoide *Eretmocerus mundus* Mercet (Hymenoptera: Aphelinidae) y de este parasitoide en combinación con el mírido *Nesidiocoris tenuis* Reuter (Heteroptera: Miridae).

También se ha constatado que la incorporación de este fitoseido reduce los costes y la complejidad de la estrategia de control y ofrece diversas mejoras de tipo técnico. Al liberar *A. swirskii* se ha demostrado que puede reducirse la dosis de suelta de *E. mundus* y la utilización de plaguicidas y que no sería necesaria la introducción de otros agentes de control biológico como el mírido *Nesidiocoris tenuis* Reuter o el fitoseido *Neoseiulus cucumeris* Oudemans (Acari: Phytoseiidae).

A partir del presente trabajo pueden extraerse además unas bases a partir de las cuales poder incorporar a *A. swirskii* dentro de los planes de manejo integrado de plagas (MIP), al ofrecer una aproximación acerca de las dosis y momento de suelta, así como de su interacción con otros agentes de control biológico empleados en estos planes, especialmente el antocórico *Orius laevigatus* Fieber (Hemiptera: Anthocoridae).

Con todo ello, estos resultados justifican económica y técnicamente la utilización de *A. swirskii* en pimiento. Ello se ve ratificado por el incremento experimentado en los últimos años, desde que este depredador es introducido, de la aplicación de programas MIP. Especialmente llamativo es el caso de Almería, donde ahora en el 100 % de los invernaderos se introducen agentes de control biológico.

ÍNDICES

ÍNDICE GENERAL

1. Introducción	1
1.1. El cultivo de pimiento	2
1.1.1. Importancia económica	2
1.1.2. Evolución histórica del control biológico en el cultivo	2
1.1.3. Situación actual del control biológico en el cultivo	5
1.1.4. Posibilidades de mejora del control biológico de <i>B. tabaci</i>	8
1.2. La plaga objetivo <i>B. tabaci</i>	9
1.2.1. Origen y distribución	9
1.2.2. Taxonomía	10
1.2.3. Biología y morfología	15
1.2.4. Fecundidad y periodo de pre-oviposición	22
1.2.5. Partenogénesis y proporción de sexos	22
1.2.6. Comportamiento	23
1.2.7. Plantas hospedadoras	23
1.2.8. Daños	24
1.3. El ácaro depredador <i>A. swirskii</i>	25
1.3.1. Descripción taxonómica	25
1.3.2. Origen y distribución	26
1.3.3. Ciclo biológico	26
1.3.4. Hábitos alimenticios	28
1.4. Bibliografía	29
2. Evaluación en condiciones de semicampo del establecimiento de <i>Amblyseius swirskii</i> Athias-Henriot (Acari: Phytoseiidae) en pimiento en presencia de <i>Bemisia tabaci</i> Gennadius (Hemiptera: Aleyrodidae).	44
2.1. Introducción	45
2.2. Material y métodos	47
2.2.1. Invernadero de ensayo	47
2.2.2. Condiciones ambientales	49
2.2.3. Manejo de cultivo	49
2.2.4. Diseño Experimental	50
2.2.5. Utilización de mosca blanca y ácaros depredadores	50
2.2.6. Muestreo	51

2.2.7. Análisis estadístico.....	52
2.3. Resultados.....	52
2.3.1. Mosca blanca.....	52
2.3.2. <i>Amblyseius swirskii</i>	54
2.4. Discusión	56
2.5. Bibliografía.....	59

3. Mejora en condiciones de semicampo de la estrategia de control biológico de *Bemisia tabaci* Gennadius (Hemiptera: Aleyrodidae) de pimiento..... 65

3.1. Introducción	66
3.2. Material y métodos.....	68
3.2.1. Invernadero de ensayo	68
3.2.2. Condiciones ambientales	69
3.2.3. Manejo de cultivo	70
3.2.4. Diseño Experimental.....	71
3.2.5. Utilización de mosca blanca, parasitoides y depredadores	72
3.2.6. Plaguicidas	76
3.2.7. Muestreo.....	77
3.2.8. Análisis estadístico.....	77
3.3. Resultados.....	78
3.3.1. Experimento de selección	78
3.3.2. Experimento de mejora	83
3.4. Discusión	85
3.5. Bibliografía.....	90

4. Utilización de *Amblyseius swirskii* Athias-Henriot (Acari: Phytoseiidae) en invernaderos comerciales de pimiento. Implicaciones para el control biológico en el cultivo. 96

4.1. Introducción	97
4.2. Material y Métodos.....	100
4.2.1. Diseño Experimental.....	100
4.2.2. Utilización de enemigos naturales y plaguicidas	102
4.2.3. Muestreo.....	107

4.2.4. Análisis estadístico.....	108
4.3. Resultados.....	108
4.3.1. Mosca blanca.....	108
4.3.2. Parasitismo	109
4.3.3. Fitoseidos	111
4.3.4. Trips.....	114
4.3.5. <i>Orius</i> spp.	114
4.3.6. Uso Plaguicidas	117
4.3.7. Coste control de plagas	117
4.4. Discusión	118
4.5. Bibliografía.....	123

ÍNDICE DE FIGURAS

1. Introducción

1.1. Distribución actual de <i>Bemisia tabaci</i> (Fuente: EPPO web site. http://pqr.eppo.org/datas/BEMITA/BEMITA.pdf . [Consulta Abril 2009])	9
1.2. Caracteres morfológicos de la pupa (A): V.D.: Vista Dorsal; V.V.: Vista Ventral; a) primera queta cefálica; b) ojo; c) segunda queta cefálica; d) primer espiráculo torácico; e) primera queta torácica; f) segundo espiráculo torácico; g) Línea de fractura en forma de T invertida; h) segunda queta torácica; i) primera queta abdominal; j) segmentación abdominal; k) tercera y cuarta queta abdominal; l) octava queta abdominal; m) llingula; n) surco caudal) ñ) queta caudal o anal; o) pliegue torácico-traqueal; p) pata anterior; q) pata media; r) pata anterior; s) estiletes mandibular y maxilar; t) primer espiráculo abdominal; u) octava microqueta ventral abdominal; v) octavo espiráculo abdominal. Caracteres morfológicos del Orificio Vasiforme (B): a) octava queta abdominal; b) llingula; c) surco caudal; d) queta anal o caudal; e) octava microqueta abdominal ventral; f) espiráculo; g) orificio vasiforme; h) opérculo. Fuente: Cock, 1986.....	11
1.3. Ciclo biológico de <i>Bemisia tabaci</i> : A) Huevo; B-E) Ninfas N1 a N4; F) Pupa; G) Adulto. Fuente: Cock (1986)	17
1.4. Macho (derecha) y Hembra (Izquierda) de <i>Bemisia tabaci</i> . Se diferencian claramente por la forma del abdomen, globosa en la hembra y apuntada en el macho.....	21
1.5. Plantas de pimiento fuertemente atacadas por <i>Bemisia tabaci</i>	24
1.6. Caracteres morfológicos de <i>Amblyseius swirskii</i> : Distribución de quetas en placa dorsal y ventrianal (1 y 4), morfología de la espermateca de la hembra y placa ventrianal (3 y 4) y morfología de los quelíceros. Fuente : Athias-Henriot 1962; Grinberg et al. 1972	25
1.7. Duración y estadios del ciclo biológico de <i>Amblyseius swirskii</i>	27
1.8. Adultos de <i>Amblyseius swirskii</i> sobre el envés de una hoja de pimiento.....	28

2. Evaluación en condiciones de semicampo del establecimiento de *Amblyseius swirskii* Athias-Henriot (Acari: Phytoseiidae) en pimiento en presencia de *Bemisia tabaci* Gennadius (Hemiptera: Aleyrodidae).

2.1. Vista general y componentes principales del sistema de control climático del invernadero donde se realizó el experimento: a) ventiladores del <i>cooling-system</i> ; b) caldera; c) panel del <i>cooling-system</i> ; d) tubo de distribución de aire de la caldera.....	48
2.2. Disposición de plantas en el interior de las jaulas de ensayo.....	49
2.3. Diseño experimental del ensayo. Se observa la distribución al azar de los tratamientos dentro de cada repetición, así como la ubicación de dos repeticiones (bloques) a cada lado del pasillo central del invernadero de ensayo..	50
2.4. Número (Media \pm Error estándar) de adultos (a) y ninfas más pupas (b) de <i>Bemisia tabaci</i> por hoja y por semana en cada uno de los tratamientos a lo largo del experimento. La primera introducción de <i>B. tabaci</i> se realizó una semana antes del primer muestreo (semana 0) y <i>Amblyseius swirskii</i> se liberó justo después del primer muestreo en la semana 1.....	53
2.5. Número (Media \pm Error estándar) de <i>Amblyseius swirskii</i> por hoja (a) y por flor (b) por semana en cada uno de los tratamientos a lo largo del experimento. La primera introducción de <i>Bemisia tabaci</i> se realizó una semana antes del primer muestreo (semana 0) y <i>A. swirskii</i> se liberó justo después del primer muestreo en la semana	55

3. Mejora en condiciones de semicampo de la estrategia de control biológico de *Bemisia tabaci* Gennadius (Hemiptera: Aleyrodidae) de pimiento.

3.1. Vista del pasillo central del invernadero de ensayo. En cada uno de sus lados pueden apreciarse las jaulas empleadas en los experimentos	69
3.2. Detalle de una planta de pimiento y de las macetas de 6,3 L en las que fueron trasplantadas	70

3.3. Vista interior de una de las jaulas empleadas para los experimentos en los que se aprecia la disposición de las plantas en dos líneas de cultivo, así como el sistema empleado para su entutorado	71
3.4. Diseño experimental del ensayo de selección (A) y de mejora (B). EM: <i>Eretmocerus mundus</i> , NT: <i>Nesidiocoris tenuis</i> + <i>E. mundus</i> , AS: <i>Amblyseius swirskii</i> + <i>E. mundus</i> , MIX: <i>A. swirskii</i> + <i>N. tenuis</i> + <i>E. mundus</i> y ASP: <i>E. mundus</i> + <i>A. swirskii</i> + <i>Plaguicidas</i>	72
3.5. Imagen de una pupa de <i>Eretmocerus mundus</i> , estadio en el que fue introducido en el experimento	73
3.6. Imagen de un adulto de <i>Nesidiocoris tenuis</i> , estadio en el que fue introducido en el experimento	74
3.7. Número (Media \pm Error estándar) de adultos (a) y ninfas más pupas (b) de <i>Bemisia tabaci</i> por hoja y por semana en cada uno de los tratamientos a lo largo del experimento de selección. La primera introducción de <i>B. tabaci</i> se realizó una semana antes del primer muestreo (semana 0) y <i>Amblyseius swirskii</i> se liberó justo después del primer muestreo en la semana 1. La introducción de <i>Nesidiocoris tenuis</i> se realizó en la semana 2.....	79
3.8. Número (Media \pm Error estándar) de <i>Amblyseius swirskii</i> (formas móviles) por hoja y por semana en cada uno de los tratamientos a lo largo del experimento de selección. La primera introducción de <i>Bemisia tabaci</i> se realizó una semana antes del primer muestreo (semana 0) y <i>A. swirskii</i> se liberó justo después del primer muestreo en la semana 1.....	80
3.9. Número (Media \pm Error estándar) de <i>Nesidiocoris tenuis</i> (ninfas y adultos) por hoja y por semana en cada uno de los tratamientos a lo largo del experimento de selección. La primera introducción de <i>B. tabaci</i> se realizó una semana antes del primer muestreo (semana 0) y la introducción de <i>N. tenuis</i> se realizó en la semana 2.....	81
3.10. Número (Media \pm Error estándar) de adultos (a) y ninfas más pupas (b) de <i>Bemisia tabaci</i> por hoja y por semana en cada uno de los tratamientos a lo largo del experimento de mejora. La primera introducción de <i>B. tabaci</i> se realizó una semana antes del primer muestreo (semana 0) y <i>Amblyseius swirskii</i> se liberó	

justo después del primer muestreo en la semana 1. Los insecticidas se aplicaron antes de la introducción de *A. swirskii*..... 84

3.11. Número (Media \pm Error estándar) de *Amblyseius swirskii* (formas móviles) por hoja y por semana en cada uno de los tratamientos a lo largo del experimento de selección. La primera introducción de *Bemisia tabaci* se realizó una semana antes del primer muestreo (semana 0) y *A. swirskii* se liberó justo después del primer muestreo en la semana 1. Los insecticidas se aplicaron antes de la introducción de *A. swirskii*. 85

4. Utilización de *Amblyseius swirskii* Athias-Henriot (Acari: Phytoseiidae) en invernaderos comerciales de pimiento. Implicaciones para el control biológico en el cultivo

4.1. Imagen por satélite de la zona productora del Poniente de Almería (A) y Campo de Cartagena (B). Puede comprobarse la gran diferencia en cuanto a concentración de los invernaderos entre ambas zonas..... 97

4.2. Plantas de pimiento fuertemente atacadas por *Bemisia tabaci* en un invernadero de Almería..... 99

4.3. Diseño Experimental. Se muestra la localización aproximada en la imagen por satélite de cada una de las repeticiones (bloques) en Almería (A) y Campo de Cartagena (B). En Almería cada una compuesta por un invernadero subdividido en dos subsectores y en Campo de Cartagena por dos invernaderos contiguos 101

4.4. Modos de introducción de *Orius laevigatus* mediante la utilización de cajas %D-Box+ (A) y de *Neoseiulus cucumeris* utilizando el producto comercial THRIPEX-PLUS (B)..... 103

4.5. Distribución de *Amblyseius swirskii* en el cultivo. El material contenido en la botella de 1 L se vierte sobre la parte superior de la planta formando así pequeños puntos de suelta. En el detalle superior izquierdo puede observarse uno de estos puntos..... 103

4.6. Evolución del número (Media \pm Error estándar) de adultos y ninfas más pupas de *Bemisia tabaci* por hoja en cada una de las semanas en el tratamiento

<i>Amblyseius swirskii</i> y Control: Adultos <i>B. tabaci</i> en CCt (a) y Almería (b); Ninfas más pupas de <i>B. tabaci</i> en CCt (c) y Almería (d).	110
4.7. Número (Media \pm Error estándar) de formas móviles de fitoseidos por flor en cada una de las semanas en el tratamiento <i>Amblyseius swirskii</i> y Control en CCt (a) y Almería (b).	111
4.8. Abundancia relativa (Media \pm Error estándar) de cada una de las diferentes especies de ácaros fitoseidos identificados a partir de las muestras recogidas a lo largo del experimento en cada una de las parcelas experimentales de CCt y Almería pertenecientes a los tratamientos <i>Amblyseius swirskii</i> y control: Control CCt (a); <i>A. swirskii</i> CCt (b); Control Almería (c); <i>A. swirskii</i> Almería (d).	113
4.9. Número (Media \pm Error estándar) de formas móviles de trips por flor en cada una de las semanas en el tratamiento <i>Amblyseius swirskii</i> y Control en CCt (a) y Almería (b).	115
4.10. Número (Media \pm Error estándar) de <i>Orius</i> spp. por flor en cada una de las semanas en el tratamiento <i>Amblyseius swirskii</i> y Control en CCt (a) y Almería (b).	116

ÍNDICE DE TABLAS

1. Introducción

1.1. Duración del desarrollo de <i>Bemisia tabaci</i> en días desde huevo a adulto sobre diferentes plantas hospedadoras a 26,7 °C (Coudriet et al., 1985).....	16
---	----

2. Evaluación en condiciones de semicampo del establecimiento de *Amblyseius swirskii* Athias-Henriot (Acari: Phytoseiidae) en pimiento en presencia de *Bemisia tabaci* Gennadius (Hemiptera: Aleyrodidae).

2.1. Número de ninfas más pupas y adultos de <i>Bemisia tabaci</i> por hoja y número de <i>Amblyseius swirskii</i> (formas móviles) por hoja y flor acumulado días para cada uno de los tratamientos a lo largo del experimento.	53
---	----

3. Mejora en condiciones de semicampo de la estrategia de control biológico de *Bemisia tabaci* Gennadius (Hemiptera: Aleyrodidae) de pimiento.

3.1. Introducciones (individuos/m ²) de <i>Eretmocerus mundus</i> , <i>Amblyseius swirskii</i> y <i>Nesidiocoris tenuis</i> en cada uno de los tratamientos durante el experimento de selección. Día de ensayo es el número de días transcurridos desde la primera introducción de <i>Bemisia tabaci</i> (Día 0).....	75
---	----

3.2. Introducciones (individuos/m ²) de <i>Eretmocerus mundus</i> y <i>Amblyseius swirskii</i> y plaguicidas empleados en cada uno de los tratamientos durante el experimento de mejora. Día de Ensayo es el número de días transcurridos desde la primera introducción de <i>Bemisia tabaci</i> (Día 0).	75
--	----

3.3. Número (Media ± Error estándar) de ninfas más pupas de <i>Bemisia tabaci</i> , adultos de <i>B. tabaci</i> , <i>Nesidiocoris tenuis</i> (adultos más ninfas) y <i>Amblyseius swirskii</i> (formas móviles) acumulados días y porcentaje (Media ± Error estándar) de pupas parasitadas por <i>Eretmocerus mundus</i> en cada uno de los tratamientos durante el experimento de selección.....	82
---	----

3.4. Número (Media ± Error estándar) de ninfas de <i>Bemisia tabaci</i> , adultos de <i>B. tabaci</i> y <i>Amblyseius swirskii</i> (formas móviles) acumulados días y porcentaje (Media ± Error estándar) de pupas parasitadas por <i>Eretmocerus mundus</i> en cada uno de los tratamientos durante el experimento de mejora.....	82
--	----

4. Utilización de *Amblyseius swirskii* Athias-Henriot (Acari: Phytoseiidae) en invernaderos comerciales de pimiento. Implicaciones para el control biológico en el cultivo.

4.1. Localización, número de repetición, código y tratamiento asignado a cada uno de los invernaderos o subsectores (parcelas experimentales) y características de cada uno de estos..... 101

4.2. Impacto estimado sobre las poblaciones de los enemigos naturales de cada uno de los insecticidas aplicados para el control de *Bemisia tabaci*. El impacto sobre cada uno de los estados de desarrollo se expresa como (1) Inocuo (Reducción en la capacidad de control <25%), (2) ligeramente dañino (26-50 % de reducción de la capacidad de control), (3) Moderadamente dañino (51-75 % de reducción de la capacidad de control), (4) muy dañino (>75 % de reducción de la capacidad de control)..... 104

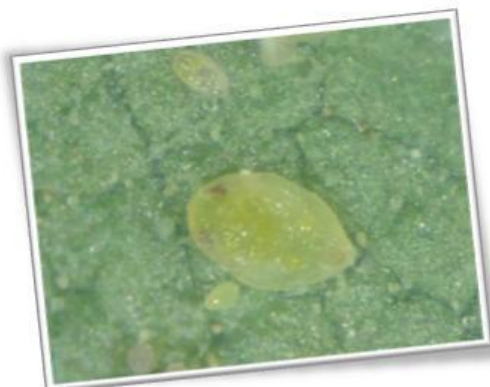
4.3. Momento y dosis de suelta y coste total, expresado en "/m², de los diferentes agentes de control biológico y químico empleados frente a mosca blanca y trips cada una de las parcelas experimentales de CCt. Nc: *Neoseiulus cucumeris*; As: *Amblyseius swirskii*; Ol: *Orius laevigatus*; Em: *Eretmocerus mundus*..... 105

4.4. Momento y dosis de suelta y coste total, expresado en "/m², de los diferentes agentes de control biológico y químico empleados frente a mosca blanca y trips cada una de las parcelas experimentales de Almería. Nc: *Neoseiulus cucumeris*; As: *Amblyseius swirskii*; Ol: *Orius laevigatus*; Em: *Eretmocerus mundus*..... 106

4.5. Índice de impacto (PII) de las aplicaciones realizadas durante los experimentos sobre *Orius laevigatus*, *Neoseiulus cucumeris* y *Eretmocerus mundus* en Campo de Cartagena y Almería. Real es el PII observado y Min y Max son los valores máximos y mínimos, respectivamente, para el índice PII si el impacto de los plaguicidas empleados sobre todos los estados de desarrollo de los diferentes enemigos naturales fuese 1 (inocuo) ó 4 (muy dañino), respectivamente. Impacto es el valor obtenido, en porcentaje, al interpolar el PII observado respecto del Min y Max..... 117

Capítulo 1

Introducción



1.1. El Cultivo de pimiento

1.1.1. Importancia económica

España es el octavo productor mundial de pimiento y chiles del mundo. Su producción total durante 2006 fue de 1,14 millones de toneladas con un valor estimado de 793,2 millones de euros (MARM 2007; FAO 2009). Desde principios de la década de los noventa hasta la actualidad la superficie total cultivada se ha reducido en unas 5000 ha. Sin embargo, la mejora de las técnicas de producción ha permitido incrementar los rendimientos productivos por unidad de superficie y la producción total anual alcanza la cifra antes señalada (MARM 2007). De este modo, en la actualidad se destinan un total de 23000 ha en España a la producción de este cultivo, de las cuales unas 12700 lo son de cultivos protegidos. De estas, unas 8700 se encuentran en la provincia de Almería y 1550 en la Región de Murcia, concentrando entre ambas el 62,7% (48,5 y 14% respectivamente) de la producción total nacional de pimiento. Estas cifras convierten a estas zonas en las principales áreas productoras de pimiento a nivel nacional (MARM 2007).

1.1.2. Evolución histórica del control biológico en el cultivo

Los primeros intentos de aplicación de técnicas de control biológico en pimiento se realizaron en países del norte de Europa. Sin embargo, con respecto a otros cultivos como el tomate, la utilización de dichas técnicas en pimiento fue más tardía debido fundamentalmente a la incidencia de *Thrips tabaci* Lindeman (Thysanoptera: Thripidae). El control de este fitófago resultaba muy complicado con los enemigos naturales disponibles, por lo que en los invernaderos en los que se aplicaban programas de control integrado estos eran muy simples y contemplaban casi exclusivamente la introducción de *Phytoseiulus persimilis* (Acari: Phytoseiidae) Athias-Henriot para el control de araña roja y la aplicación de *Bacillus thuringiensis* frente a orugas (Altena y Ravensberg 1990). Sin embargo, la presencia de residuos de plaguicidas en los frutos suponía una barrera para su comercialización hacia terceros países. Esto motivó la puesta en marcha de crías en masa de varias especies de ácaros depredadores destinados al control de trips. Entre dichas especies se encontraban *Neoseiulus barkeri* (Hughes) y *Neoseiulus cucumeris* Oudemans (Acari: Phytoseiidae) (Ramakers 1983). La consecución de dichas crías propicio un incremento la superficie cultivada en la que se liberan organismos de control biológico

y motivó la incorporación de nuevos enemigos naturales gracias a la disminución en el uso de insecticidas (Altena y Ravensberg 1990).

La posterior aparición del trips *Frankliniella occidentalis* Pergande (Thysanoptera: Thripidae) en Europa en 1983 y su rápida dispersión a través de todo el continente hizo necesaria la optimización del control biológico. En el caso de Holanda e Inglaterra se consiguieron buenos resultados empleando *N. cucumeris* (Buxton *et al.* 1990; Ramakers *et al.* 1989). Sin embargo, en zonas como Sicilia este fitoseido no dio buenos resultados, atribuyéndose su escasa eficacia a una baja tolerancia a condiciones de baja humedad (Vacante y Tropea-Garzía 1993). Estos resultados concuerdan con los obtenidos en zonas como Almería y las Islas Canarias, donde también *N. cucumeris* fue incapaz de controlar por sí sólo a *F. occidentalis* (Rodríguez-Rodríguez 1991; Rodríguez y Fidalgo 1993). Además, *N. cucumeris* entra en diapausa reproductiva como respuesta a la disminución del fotoperiodo (Morewood y Gilkenson 1991).

Todo ello impulsó la búsqueda de nuevas especies o razas que no presentaran diapausa y que estuviesen mejor adaptadas a condiciones de menor humedad relativa (van Houten y van Stratum 1993). En este sentido, los antocóridos del género *Orius* Wolf (Hemiptera: Anthocoridae) despertaron un gran interés (Gilkenson *et al.* 1990; Teiller y Steiner 1990), al igual que diversos himenópteros parasitoides de larvas de trips del género *Ceranisus* Walter (Hymenoptera: Eulophidae) (Loomans y van Lenteren 1990; Murai 1990; Loomans 1991; Loomans *et al.* 1993) y diversos nematodos (Greene y Parrella 1993) y hongos entomopatógenos como *Verticillium lecanii* (Zimm.) (Helyer 1993). Loomans *et al.* (1995) ofrecen una revisión detallada de una gran cantidad de enemigos naturales de diversas especies de trips.

Tras esta búsqueda, los primeros resultados positivos se obtuvieron en Holanda utilizando la especie *Orius insidiosus* (Say) (Hemiptera: Anthocoridae) (van den Meiracker y Ramakers 1991; Ramakers 1993; van de Veire y Degheele 1993), si bien la inducción de diapausa reproductiva en esta especie limitaba su empleo en invierno a menos que se emplearan sistemas de iluminación artificial (Ruberson *et al.* 1991; van den Meiracker 1994). En Inglaterra, *Orius majusculus* (Reuter) (Hemiptera: Anthocoridae) también dio buenos resultados, aunque presentaba el inconveniente de la inducción de diapausa reproductiva (Jacobson 1993; van den Meiracker 1994).

En los países de la cuenca mediterránea se tiende a la búsqueda de enemigos naturales autóctonos. En Italia se obtienen buenos resultados empleando la especie *Orius laevis* Fieber (Hemiptera: Anthocoridae) (Tavella *et al.* 1994) y en Francia con *O. majusculus*, aunque la inducción de diapausa limitaba su eficacia sobre todo en cultivos tempranos (Fischer *et al.* 1992). En España Carnero *et al.* (1994) obtienen buenos resultados empleando *Orius albidipennis* (Reuter) (Hemiptera: Anthocoridae) en pimiento.

Sin embargo, el principal problema derivado de la incidencia de *F. occidentalis* es su capacidad para transmitir el virus del bronceado del tomate (Tomato Spotted Wilt Virus; TSWV) (Lacasa *et al.* 1991). Virus y vector cuentan con multitud de plantas hospedadoras tanto cultivadas como silvestres (Lacasa y Contreras 1993). En España este problema se ve agravado por las características peculiares de su agrosistema, que permite el desarrollo continuo de la plaga a lo largo del año gracias sobre todo a la presencia continua de cultivos y plantas hospedadoras y a unas condiciones climáticas ideales.

Así pues y pese a los primeros resultados prometedores obtenidos empleando organismos de control biológico frente a trips, el control de plagas seguía realizándose en nuestro país principalmente mediante el empleo de agentes de control químico de amplio espectro, que sí ofrecían en aquellos momentos resultados aceptables frente a trips y otras plagas. Además, la inexistencia de un programa de control integrado consolidado y de eficacia contrastada, junto a la ausencia de una formación adecuada y unido al esfuerzo extra que para el agricultor y los asesores técnicos suponía la realización de unos seguimientos más periódicos y exhaustivos, hacía poco atractivo el control biológico para los agricultores.

Esta confianza ciega en el control químico motivó que durante muchos años se haya mantenido una laguna importante sobre el conocimiento no tan sólo de las plagas, sino también y aún más importante, de los enemigos naturales autóctonos que pudiesen tener algún efecto importante en su control. De aquellos años tan solo existen al respecto algunos estudios como el realizado por Rodríguez-Rodríguez (1988). Dicha autora realizó un amplio inventario acerca de la fauna auxiliar asociada a las principales plagas de los cultivos protegidos almerienses. Además, constituye uno de los estudios pioneros sobre el tema realizados en nuestro país.

1.1.3. Situación actual del control biológico en el cultivo

Como se ha indicado anteriormente la incidencia del trips *F. occidentalis* ha limitado tradicionalmente la utilización de organismos de control biológico en pimiento. Así pues, la consecución de una estrategia de control biológico que pudiera ser una alternativa real al control químico convencional pasaba inequívocamente por garantizar un control efectivo de este fitófago. En este sentido, Lacasa y Sánchez (2002) y Urbaneja *et al.* (2003) pusieron de manifiesto que la introducción del ácaro depredador *N. cucumeris* al inicio del cultivo, junto con la liberación del antocórido *O. laevigatus* una vez que se iniciaba la floración, posibilitaban un control eficaz de la plaga. Además, empleando esta estrategia se demostró que la incidencia de TSWV era menor que en cultivos de pimiento con control químico convencional. Este hecho, unido a que en los últimos años *F. occidentalis* ha generado resistencias a multitud de los agentes de control químico disponibles (Zhao *et al.* 1995; Jensen 2000; Espinosa *et al.* 2002a, 2002b; Bielza 2008; Fernández *et al.* 2009), la disminución de las materias activas autorizadas por los gobiernos (MARM 2009; Anexo 1 de la Directiva Comunitaria 91/414/CEE(222)) y la demanda creciente por parte de los mercados y consumidores por productos libres de residuos químicos, ha permitido en los últimos años la implantación de programas de manejo integrado en pimiento basados en la introducción de organismos de control biológico en una superficie cada vez más amplia (Castañe 2002; van der Blom *et al.* 2002). Sin embargo, este incremento ha sido muy desigual en Almería y la Región de Murcia. En esta última aproximadamente el 60% de la superficie de pimiento era cultivada aplicando técnicas de control biológico en 2002, mientras que en Almería la aplicación de dichas técnicas se restringía al 5% de la superficie total cultivada en 2005 (van der Blom 2002, 2005).

Ambas zonas presentan peculiaridades diferentes que hacen que el control de plagas presente unos condicionantes particulares. En Campo de Cartagena el ciclo de cultivo se inicia a finales de año y termina en los meses estivales. De este modo la densidad poblacional de las plagas al inicio es reducida, lo que unido a unas condiciones climáticas benignas, favorece el establecimiento de los enemigos naturales y con ello el éxito del control biológico. En Almería, por el contrario, el ciclo de cultivo se inicia en época estival y finaliza en invierno. Además, existe una presencia continua de cultivos hospedadores de la plaga y la superficie invernada es muy superior. De este modo, al inicio del cultivo coinciden unas condiciones climáticas extremas y unas inmigraciones muy intensas de los fitófagos al interior de los invernaderos. Ello deriva en que las plagas puedan incrementar de forma muy rápida sus poblaciones. Sin embargo, pese

a dichos condicionantes del ciclo almeriense, el control de trips resulta por lo general eficaz mediante la utilización de la misma estrategia que en Campo de Cartagena (zona productora en la Región de Murcia), si bien gracias fundamentalmente a la buena instalación de *O. laevigatus*, ya que la adaptación de *N. cucumeris* al ciclo almeriense resulta poco satisfactoria por su baja tolerancia a condiciones de baja humedad relativa (de Courcy Williams *et al.* 2004).

Según lo anterior, cabe preguntarse qué ha provocado la desigual utilización en pimiento de agentes de control biológico en Almería y Campo de Cartagena. La respuesta está en otra plaga clave del cultivo, la mosca blanca *Bemisia tabaci* Gennadius (Hemiptera: Aleyrodidae). Para el control de este fitófago anteriormente se combinaban sueltas de tipo aumentativas de los parasitoides *Encarsia formosa* Graham y *Eretmocerus eremicus* Rose y Zolnerowich (Hymenoptera: Aphelinidae) con plaguicidas compatibles (Monserrat *et al.* 1998). Posteriormente, diversos estudios pusieron de manifiesto que el parasitoide *Eretmocerus mundus* Mercet (Hymenoptera: Aphelinidae) resultaba más apto para su control (Stansly *et al.* 2005), motivo por el que sustituyó a dichos parásitos como base para el control biológico de *B. tabaci*. Introducciones de tipo aumentativas de este último y en caso necesario aplicaciones de plaguicidas tales como jabones o insecticidas reguladores del crecimiento, permitían por lo general un control de *B. tabaci* satisfactorio en Campo de Cartagena. Sin embargo, en los invernaderos almerienses donde, por los condicionantes antes mencionados, las densidades poblacionales de la mosca blanca son ya muy elevadas desde el inicio del ciclo de cultivo, *E. mundus* se ha venido mostrando insuficiente para controlar de modo eficaz a la mosca blanca. Así pues, para poder mantener bajo control a la plaga, es necesario, además de emplear dosis muy elevadas del parasitoide, aplicar plaguicidas de forma regular. La aplicación de estos dificulta el establecimiento de los diferentes enemigos naturales introducidos y por tanto su eficacia. Esto obliga finalmente al abandono del control biológico en favor del control químico convencional.

Bajo estos condicionantes puede imaginarse que la aplicación de técnicas de control biológico resulte poco atractiva para los agricultores almerienses, lo cual vendría a explicar el desigual grado de implantación de los programas de manejo integrado basados en el uso de enemigos naturales.

Posteriormente, se han realizado nuevos estudios empleando otros agentes de control biológico, pero que no han dado los resultados esperados. Un ejemplo ha sido el

depredador *Nesidiocoris tenuis* Reuter (Hemiptera: Miridae) como complemento de *E. mundus*. Este depredador es capaz de alimentarse de mosca blanca e incluso de ejercer un control suficiente en cultivos como el tomate (Calvo *et al.* 2009). Es además un depredador bien adaptado al área mediterránea y ampliamente distribuido por la geografía española y que además es capaz de establecerse en pimiento (Goula 1985; Calvo y Urbaneja 2004; Urbaneja *et al.* 2005). Sin embargo, su relativamente largo tiempo de desarrollo (Sánchez *et al.* 2009), ha limitado su utilización, dado que no pueda alcanzar un nivel poblacional suficiente con la celeridad suficiente para impedir la aparición de daños causados por parte de la plaga. También se han estudiado las posibilidades de *Coenosia attenuata* Stein (Diptera: Muscidae) (Tapia y Téllez 2005), díptero depredador muy abundante en la zona almeriense. Sin embargo, su uso práctico en cultivos comerciales se ha demostrado complicada debido sobre todo a su elevada polifagia, difícil manejo y susceptibilidad para ser criado en masa.

Así pues, los agricultores almerienses seguían apostando fundamentalmente por el control químico convencional. Sin embargo, esta técnica presenta diversos aspectos negativos. En primer lugar no siempre resulta del todo eficaz, ya que factores como el modo de aplicación o las buenas prácticas a la hora de la preparación de los caldos determinan en gran medida la eficiencia de la aplicación. También la generación de resistencias a las materias activas empleadas, que ya han sido ampliamente descritas para *B. tabaci* (Cahill *et al.* 1996a, 1996b; Elbert y Nauen 2000; Palumbo *et al.* 2001; Horowitz *et al.* 2002; Nauen y Denholm 2005) y *F. occidentalis* (Jensen 2000; Zhao *et al.* 1995; Espinosa *et al.* 2002a, 2002b; Bielza 2008; Fernández *et al.* 2009), pueden reducir enormemente la efectividad de un determinado formulado. Muy importante es también su efecto nocivo sobre el medio ambiente, por la acumulación de residuos y efecto sobre la biodiversidad en las proximidades de los agrosistemas y por sus riesgos potenciales para los consumidores y productores. Finalmente, el uso de agentes de control químico se está viendo paulatinamente limitado debido a las restricciones impuestas por diversos mercados a la presencia de residuos químicos en los frutos y a las diversas directivas tanto comunitarias como nacionales (Anexo 1 de la Directiva Comunitaria 91/414/CEE(222); MARM 2009).

Todo esto pone de manifiesto que es necesario buscar alternativas eficaces que vengán a rellenar esta laguna provocada por la falta de herramientas de control y por la demanda de medidas más saludables para consumidores, productores y el medio ambiente. En este sentido, las estrategias de control integrado y biológico, siempre y cuando resulten eficaces son la mejor solución. Las estrategias de control integrado

combinando enemigos naturales y plaguicidas son una técnica ya ampliamente utilizada en todo el mundo (Heinz *et al.* 2004). Con ella se consigue reducir de forma importante el número de plaguicidas utilizados y en caso necesario los que se aplican son formulados de tipo selectivo, que resultan mucho más respetuosos con el medio. Sin embargo, en muchos casos el uso de agentes de control biológico ha posibilitado un control efectivo de la plaga objetivo sin necesidad de emplear agentes de control químico (van Lenteren 2002). En estos casos, el control biológico usado exclusivamente como método de control de plagas resulta más interesante puesto que la estrategia es más saludable para todos los componentes de la cadena alimenticia. Sin embargo, para la consecución de dichos objetivos en nuestras áreas productoras es necesario mejorar la eficacia frente a *B. tabaci* de los programas de control biológico/integrado. Bien en el caso de Campo de Cartagena para posibilitar un control exclusivamente biológico de la plaga o en el caso de Almería para posicionar el control integrado e incluso biológico como alternativas eficaces al control químico.

1.1.4. Posibilidades de mejora del control biológico de *B. tabaci*

Pese a que existen multitud de enemigos naturales conocidos de *B. tabaci* (Gerling *et al.* 2001) y que los fitoseidos no son *a priori* un grupo de depredadores muy voraz en comparación con otros insectos depredadores (Gotoh *et al.* 2004), son varias las características que hacen de este grupo organismos especialmente interesantes para el control biológico (Overmeer 1985; van Lenteren 2003). Entre estas cabe destacar su rápido desarrollo, relativamente alta fecundidad o su alta supervivencia.

Nomikou *et al.* (2001, 2002, 2003, 2004) realizaron una serie de estudios de catalogación y selección de especies de fitoseidos depredadoras de *B. tabaci* en los que se puso de manifiesto que el ácaro depredador *Amblyseius swirskii* (Athias-Henriot) (Acari: Phytoseiidae) podría resultar un enemigo natural con grandes posibilidades como agente de control biológico de esta plaga. Por otro lado, *A. swirskii* es un ácaro autóctono de la parte oriental del Mediterráneo, donde se encuentra ampliamente distribuido (Swirski y Amitay 1997), por lo que se encontraría *a priori* bien adaptado a condiciones ambientales semejantes a las españolas. También es capaz de alimentarse de otras especies plaga del pimiento como *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae), *Polyphagotarsonemus latus* (Banks) (Acari: Tarsonemidae) o *F. occidentalis* (El-Laithy y Fouly 1992; Elsayi y Abou-Awad 1992; Momen y El-Saway 1993; van Houten *et al.* 2005; Stansly y Castillo 2009), mostrando una tasa de desarrollo sobre esta última del orden de diez veces superior a *N. cucumeris*, fitoseido

empleado comercialmente frente a este trips. Otra característica que hace a este fitoseido especialmente interesante para el cultivo de pimiento es su capacidad para desarrollarse a partir de fuentes alternativas de alimento como polen (Swirski y Amitai 1967; Ragusa y Swirski 1975; Momen y El-Saway 1993; Nomikou *et al.* 2003). De este modo sería capaz de mantenerse y establecerse en el cultivo aún en condiciones de ausencia de presa, mejorando así las posibilidades de control. Por un lado dicha característica permitiría su introducción preventiva y por otro su mantenimiento en ausencia de presa en el cultivo, facilitando el control de la plaga y evitando posibles rebrotes poblacionales.

Todas estas características hacen interesante la puesta en marcha de un proyecto con el objetivo de estudiar las posibilidades que *A. siwrskii* puede ofrecer para mejorar la eficacia de los programas de control integrado frente a *B. tabaci*. Esta plaga, tal y como se ha dicho anteriormente se ha convertido, tras controlarse de modo eficaz a *F. occidentalis* con *O. laevigatus*, en la especie que viene dificultando la extensión del uso de técnicas de control biológico.

1.2. La plaga objetivo *B. tabaci*

1.2.1. Origen y distribución

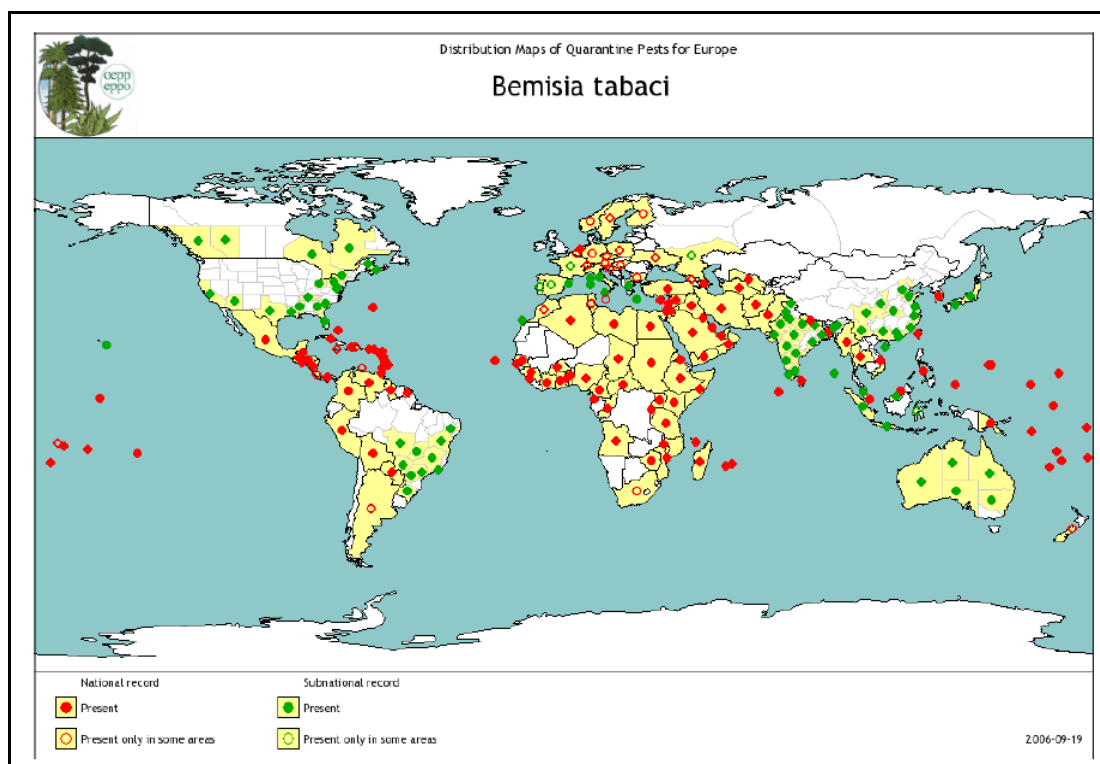


Figura 1.1. Distribución actual de *Bemisia tabaci* (Fuente: EPPO web site.<http://pqr.eppo.org/datas/BEMITA/BEMITA.pdf>. [Consulta Abril 2009]).

La India está considerada como el área de origen de *B. tabaci* (Brown 1994; Fishpool y Burban 1994). Esta mosca blanca es una plaga en áreas tropicales y subtropicales, pero que puede sobrevivir en zonas algo más frías en las que encuentre refugios invernales aptos (Butler y Henneberry 1984; Cock 1986; Brown 1994). Fue descrita por primera vez en el año 1889 en Grecia sobre plantas de tabaco por Gennadius (Gennadius 1889) y actualmente se considera presente en todas las áreas geográficas del mundo salvo la antártica (Cock 1986, 1993; De Barro 1995; Perring 2001; Fig. 1.1). En España fue descrita por primera vez en el año 1943 (Gómez-Menor 1943) y viene causando problemas graves desde la década de los noventa del siglo pasado, tanto en la península como en las Islas Canarias (Carnero *et al.* 1990; Rodríguez-Rodríguez 1994; Beitia *et al.* 1997).

1.2.2. Taxonomía

El género *Bemisia* Quaintance y Baker 1914 engloba un total de 37 especies (Mound y Hasley 1978). La mosca blanca del tabaco *B. tabaci* pertenece a la subfamilia Aleyrodinae, familia Aleyrodidae, superfamilia Aleyrodoidea, suborden Homoptera y al orden Hemiptera (Woodward *et al.* 1970; Richards y Davies 1977). Sin embargo, la clasificación taxonómica de esta especie presenta una historia peculiar debido a su elevada polifagia.

Si bien existen claves que permiten la diferenciación a escala de género o superfamilia a partir de los caracteres morfológicos del adulto (Hidalgo *et al.* 1975), dicha diferenciación no es posible a escala de especie debido a que los caracteres morfológicos de los adultos no permiten una buena diagnosis (Martin 1987). De este modo, la diferenciación taxonómica se ha venido realizando a partir de la estructura del cuarto estadio ninfal o pupa (Gill 1990; Mound y Hasley 1978). Algunos de los caracteres morfológicos empleados son la crenulación marginal, estructura y forma de los pliegues traqueales torácicos, la forma de la llingula y opérculo del orificio vasiforme, varios poros de la parte dorsal del cuerpo y la forma, tamaño y presencia de quetas dorsales (Mound 1963; Gill 1990; Fig 1.2).

La morfología de este estadio en el caso de *B. tabaci*, debido a su polifagia, puede variar en función de la planta hospedadora, principalmente a causa del relieve de la hoja (Mound 1963; Russell 1948). Este fenómeno ha provocado que desde que *B. tabaci* fue descrita haya recibido multitud de sinonimias. Perring (2001) recoge hasta 23 sinonimias diferentes para esta especie.

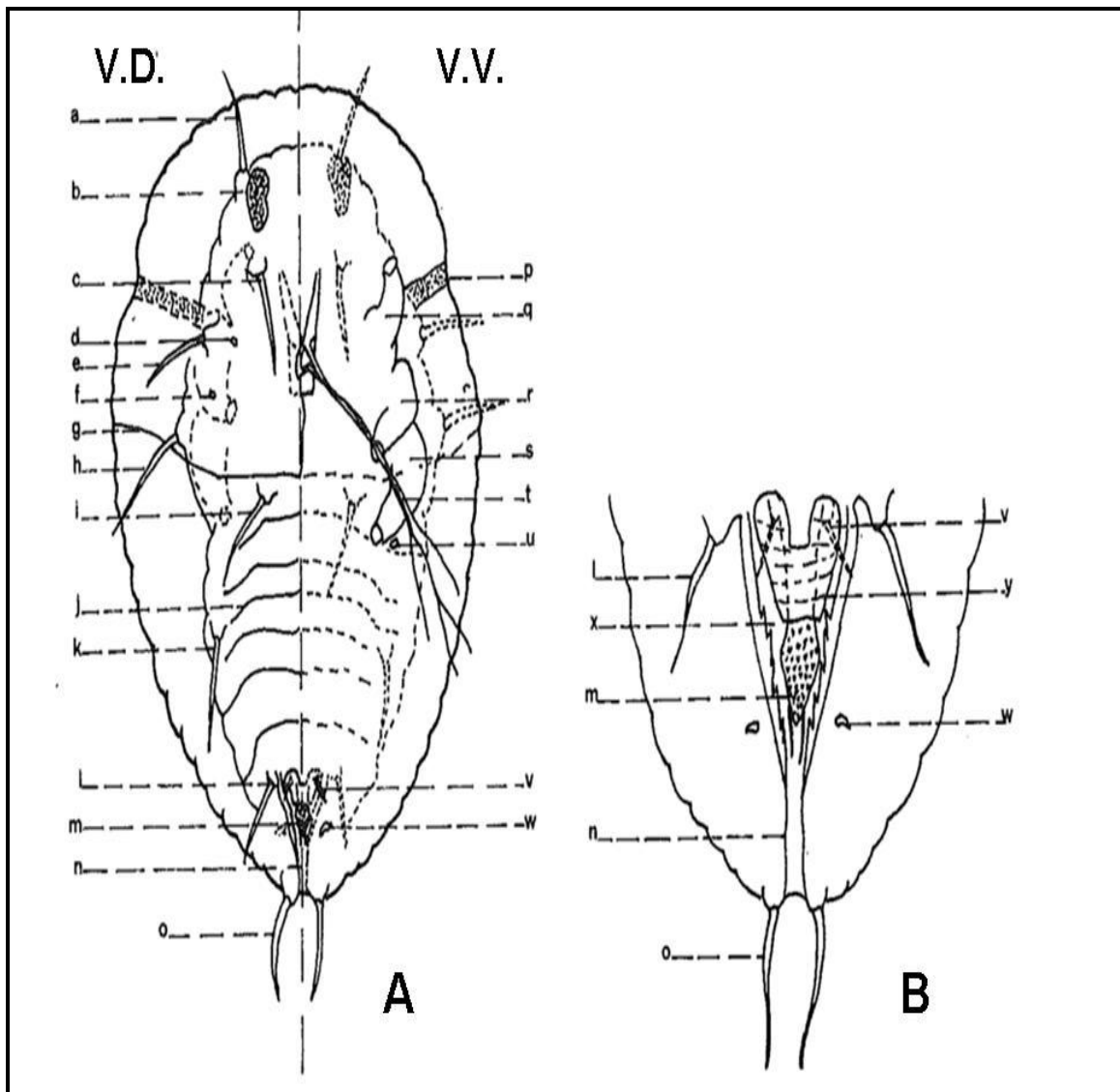


Figura 1.2. Caracteres morfológicos de la pupa de *Bemisia tabaci* (A): V.D.: Vista Dorsal; V.V.: Vista Ventral; a) primera queta cefálica; b) ojo; c) segunda queta cefálica; d) primer espiráculo torácico; e) primera queta torácica; f) segundo espiráculo torácico; g) Línea de fractura en forma de T invertida; h) segunda queta torácica; i) primera queta abdominal; j) segmentación abdominal; k) tercera y cuarta queta abdominal; l) octava queta abdominal; m) llingula; n) surco caudal; ñ) queta caudal o anal; o) pliegue torácico-traqueal; p) pata anterior; q) pata media; r) pata posterior; s) estiletes mandibular y maxilar; t) primer espiráculo abdominal; u) octava microqueta ventral abdominal; v) octavo espiráculo abdominal.

Caracteres morfológicos del orificio vasiforme de la pupa de *B. tabaci* (B): a) octava queta abdominal; b) llingula; c) surco caudal; d) queta anal o caudal; e) octava microqueta abdominal ventral; f) espiráculo; g) orificio vasiforme; h) opérculo. Fuente: Cock (1986).

Esta mosca blanca fue descrita por primera vez como *Aleyrodes tabaci* en 1889 por Gennadius sobre plantas de tabaco en Grecia (Gennadius 1889). Aproximadamente una década después se describió una nueva especie de mosca blanca sobre *Physalis alkenkengi* L. en el sureste de Estados Unidos que se denominó *Aleyrodes inconspicua* Quaintance (Quaintance 1900). Esta especie fue posteriormente enclavada en un nuevo género denominado *Bemisia* en 1914, por lo que pasó a denominarse *Bemisia inconspicua* (Quaintance), que es la especie tipo del género (Quaintance y Baker 1914).

Posteriormente unas 19 nuevas especies, que después se consideraron sinonimias de *B. tabaci* (Russell 1958; Mound y Halsey 1978), fueron descritas sobre diversas plantas hospedadoras en un total de 14 países diferentes (Perring 2001). De todas estas destaca aquella en la que se situó a esta especie dentro del género *Bemisia*, resultando en *B. tabaci*, denominación que continúa hasta hoy (Takahashi 1936).

La inclusión bajo una misma especie de este gran número de sinonimias dio lugar a que toda aquella información generada sobre cada una de ellas se asociara con *B. tabaci*, atribuyéndose a esta mosca blanca un gran número de plantas hospedadoras y una amplia distribución alrededor del planeta.

Por otro lado, se ha constatado que las diferentes poblaciones de *B. tabaci* que se encuentran repartidas por el mundo presenta particularidades que las diferencia en cuanto a su biología y comportamiento, grado de susceptibilidad o resistencia a agentes de control químico e interacción con sus enemigos naturales (Perring 2001). Esto ha venido a complicar aún más la taxonomía de esta especie, dando lugar además a dos teorías acerca de la misma en las que se considera a *B. tabaci* como una especie compuesta bien por diferentes razas o por diferentes biotipos. Estas hipótesis son:

1) Razas en función del hospedador (*Host races*)

Se clasifica a *B. tabaci* como una especie compuesta de diferentes razas cada una de ellas caracterizada en función de su rango de plantas hospedadoras (Wool *et al.* 1994; Brown *et al.* 1995a). Estas *host races* se definen como poblaciones que no resultan diferentes morfológicamente pero que si muestran ciertas diferencias biológicas sobre una determinada planta hospedadora.

2) Biotipos

Sería una distinción al mismo nivel que la *host race*. En este caso la diferenciación se produce debido a que pese a la ausencia de caracteres morfológicos diferenciadores, existen otras características a nivel genético o molecular que permiten diferenciarlas (Claridge 1997). Hasta el momento se han estudiado un total de 41 poblaciones diferentes de *B. tabaci*, de las cuales 24 han sido designadas como diferentes biotipos (Brown *et al.* 1995a; Perring 2001).

Las herramientas más empleadas para la diferenciación de los biotipos son técnicas moleculares como electroforesis, secuenciación y RAPD-PCR y estudios de biología básica y de capacidad de transmisión de virosis e inducción de fisiopatías (Perring 2001), siendo adecuado combinar varias de estas técnicas para una determinación adecuada. Perring (2001) ofrece una amplia revisión de todos los trabajos realizados hasta la fecha para caracterizar los diferentes biotipos existentes.

Estos mismos estudios han cuestionado si todas las poblaciones de *B. tabaci* o biotipos pueden agruparse bajo una misma especie, dando lugar así a una teoría alternativa en la que se considera a *B. tabaci* como un complejo de especies. Un complejo de especies se denomina como un conjunto de poblaciones de una especie que están reproductivamente aisladas y tienen un flujo genético diferenciado sin que entre ellas existan caracteres morfológicos diferenciadores (Lane 1977). Un estudio que avala esta tesis es el realizado por Wool *et al.* (1991, 1994), quien ofrece una serie de datos que demuestran la existencia de diferencias genéticas en diversas poblaciones de *B. tabaci* repartidas en varias áreas geográficas del planeta. Por otro lado, Gill (1992) realizando una revisión acerca del estatus de *Bemisia* en el suroeste de Estados Unidos sugirió que los biotipos A y B de *B. tabaci* eran en realidad dos especies hermanadas. Por otro lado, estudios de cruzamiento entre biotipos han demostrado la incompatibilidad de los mismos (Costa *et al.* 1993; Bedford *et al.* 1994; Byrne *et al.* 1995; Brown *et al.* 2000; De Barro y Hart 2000). También, el hecho de que determinadas poblaciones de *B. tabaci* no puedan reproducirse sobre determinadas plantas hospedadoras, mientras otras si lo son (Burban *et al.* 1992), han reforzado aún más la teoría de que *B. tabaci* sea en realidad un complejo de especies. También Brown *et al.* (1995a) a partir de una revisión sobre la bibliografía generada a desde la mitad del siglo pasado, junto con Frohlich *et al.* (1999) y Brown *et al.* (2000) quienes han realizado multitud de estudios moleculares, avalan esta teoría. Así pues, todos

estos resultados sustentan la tesis de que *B. tabaci* se trata en realidad de un conjunto de especies.

Otra hipótesis secundaria que ha surgido afirma que en realidad se trate en determinadas ocasiones incluso de dos especies diferentes. De este modo, Perring *et al.* (1993) a partir de estudios de cruzamiento, cópula y análisis molecular sugirió que una cepa causante de la aparición de ciertas fisiopatías como plateado en cucurbitáceas y maduración irregular en tomate era una especie diferente a *B. tabaci* denominada *Bemisia argentifolii* Bellows y Perring (Hemiptera: Aleyrodidae).

En cualquier caso, todo esto es hoy en día motivo de controversia por parte de los especialistas (Brown *et al.* 1995b; Guirao *et al.* 1997), quienes sugieren que por el momento es más adecuado hablar de diferentes biotipos de *B. tabaci* en lugar de afirmar la existencia de diferentes especies. Los diferentes biotipos identificados por el momento se han clasificado en 7 grupos (Perring 2001):

- 1) Biotipos del Nuevo Mundo: A, C, N, y R.
- 2) Biotipos B (= *B. argentifolii*), B2. Su principal diferencia con otros biotipos es la inducción de determinadas fisiopatías como plateado y maduración irregular.
- 3) Benin (Biotipo E) y España (Biotipo S).
- 4) Biotipo H.
- 5) Sudan (Biotipo L), Egipto (Biotipo ?), España (Biotipo Q) y Nigeria (Biotipo J).
- 6) Turquía (Biotipo M), Hainan (Biotipo ?) y Korea (Biotipo ?).
- 7) Australia (Biotipo AN).
- 8) Otros biotipos: Se han encontrado otros biotipos que resulta difícil de incluir en uno u otro grupo a partir de estudios moleculares.

En España se ha descrito la presencia de los biotipos B, S y Q (Guirao *et al.* 1997; Rosell *et al.* 1997; Banks *et al.* 1999). El biotipo Q parece ser el más abundante, estando el biotipo B restringido a una pequeña área y a un reducido número de plantas hospedadoras. Por su parte el biotipo S ha sido detectado puntualmente sobre unas pocas plantas hospedadoras. Diversos estudios realizados han mostrado que los biotipos B y Q presentan características biológicas diferentes (Beitia *et al.* 1997; Guirao *et al.* 1997; Usín *et al.* 1997; Berdiales *et al.* 1999; Ronda *et al.* 1999; Nombela *et al.*, 2000), entre las que cabe destacar diferencias en el tiempo de desarrollo y supervivencia de los inmaduros, longevidad de los adultos, preferencia de plantas hospedadoras, fecundidad o eficiencia en la transmisión de virosis.

1.2.3. Biología y morfología

La duración del ciclo biológico de *B. tabaci* está influenciado principalmente por la temperatura y la planta hospedadora (Russell 1975). Estas conclusiones concuerdan con los resultados mostrados por Azab *et al.* (1971), quienes observaron como la duración del ciclo biológico de *B. tabaci* podía variar entre 14 y 75 días en condiciones de campo dependiendo de la época del año. De este modo el ciclo biológico fue más corto durante el verano, completándose en unos 14 días (duración media 16,4 días) y más largo en invierno, completándose hasta en 75 días (duración media 74,6 días). Por otro lado, Coudriet *et al.* (1985) observaron como el desarrollo de *B. tabaci* fue un 30% más rápido en lechuga, pepino, berenjena y calabaza que en brócoli o zanahoria, demostrando el efecto que tiene sobre el tiempo de desarrollo la planta hospedadora (Tabla 1.1).

El rango de temperaturas en el cual puede desarrollarse y multiplicarse *B. tabaci* es muy amplio, pudiendo realizar estos procesos entre 16 °C y 34 °C, situándose sus umbrales mínimo y máximo de desarrollo en 9 y 40 °C respectivamente (Sánchez *et al.* 1991). Estos umbrales de desarrollo dependen también a su vez del estadio de desarrollo considerado y del hospedador vegetal (Powell y Bellows 1992). De este modo, la L1 encuentra su umbral mínimo de desarrollo a 16,2 °C en calabacín y a 11,5 °C en el algodón. Por otro lado, este umbral se sitúa en 18,3 °C para el huevo en calabacín y en 15,8 °C en algodón. Estos autores también señalaron que la supervivencia de esta especie se incrementa a temperaturas entre 25-30 °C con respecto a la que presenta a 20 °C.

Bemisia tabaci dependiendo de las condiciones climáticas y de la planta hospedadora es capaz de completar en los meses más cálidos una generación en tan solo 12-14 días, mientras que en los meses más fríos estos valores se incrementan hasta los 43-49 días (Rapisarda 1990). De este modo, en áreas cálidas en las que *B. tabaci* puede alcanzar hasta 11 generaciones al año se produce un solapamiento de las generaciones.

Los estadios inmaduros de *B. tabaci* han sido denominados tradicionalmente larvas, sin embargo, debido a que es un insecto que presenta una metamorfosis incompleta (alometábolo), se ha considerado más adecuado denominar a estos estadios como ninfas (Cock 1986). El ciclo biológico de *B. tabaci* de acuerdo a Azab *et al.* (1971, 1972) y Sharaf y Batta (1985) engloba el estado de huevo, tres estadios ninfales, el

estado de pupa y el adulto. Sin embargo, Cock (1986) considera que debido a la aparición en la parte final del cuarto estadio de una serie de cambios muy relevantes, que tienen incluso repercusión en el comportamiento de los parasitoides, es mejor diferenciar entre cuarto estadio ninfal y estado de pupa (Fig. 1.3). El criterio ofrecido por Cock (1986) será el considerado en el presente trabajo. A continuación se describe cada uno de los estadios de desarrollo de *B. tabaci*.

Tabla 1.1. Duración del desarrollo de *Bemisia tabaci* en días desde huevo a adulto sobre diferentes plantas hospedadoras a 26,7 °C (Coudriet *et al.* 1985).

	Planta Hospedadora	Duración (Días)
Zanahoria	<i>Daucus carota</i>	29,8
Brócoli	<i>Brassica oleracea</i>	29,7
Tomate	<i>Lycopersicon sculentum</i>	27,3
Lino	<i>Linum usitatissimum</i>	23,9
Pimiento	<i>Capsicum annuum</i>	23,4
Melón	<i>Cucumis melo</i>	22,3
Sandía	<i>Citrullus lantanus</i>	22,3
Judía	<i>Phaseolus vulgaris</i>	21,8
Algodón	<i>Gossypium hirsutum</i>	21,7
Alfalfa	<i>Medicago sativa</i>	21,4
Calabaza	<i>Cucurbita maxima</i>	21,3
Berenjena	<i>Solanum melongena</i>	20,9
Pepino	<i>Cucumis sativus</i>	20,6
Lechuga	<i>Lactuca sativa</i>	19,4
Batata	<i>Ipomea batatas</i>	18,6

Huevo

El huevo es semi-elíptico y se encuentra adherido a la superficie de la hoja mediante un pie situado a un lado de su base. Es de $0,211 \pm 0,005$ mm de longitud y $0,096 \pm 0,002$ mm de diámetro. Los huevos suelen ser colocados en posición vertical y generalmente en el envés de las hojas. La hembra suele depositarlos en pequeños grupos formando un círculo o semicírculo, que forma al ir depositando los huevos a la vez que rota sobre su estilete mientras se alimenta. Este comportamiento es una característica específica de los insectos de la familia Aleyrodidae (Mound 1963).

También pueden aparecer de forma aislada. Tras su deposición el corion es brillante y de un tono amarillo blanquecino y con restos pulverulentos procedentes de las alas de la hembra. Posteriormente, según va evolucionando, va adquiriendo un tono marrón-rojizo. Cuando el huevo está muy evolucionado se distinguen dos manchas de color rojo en su parte superior que se corresponden con los ojos de la ninfa, además de dos manchas de color amarillo en su base que se corresponden con los micetomas.

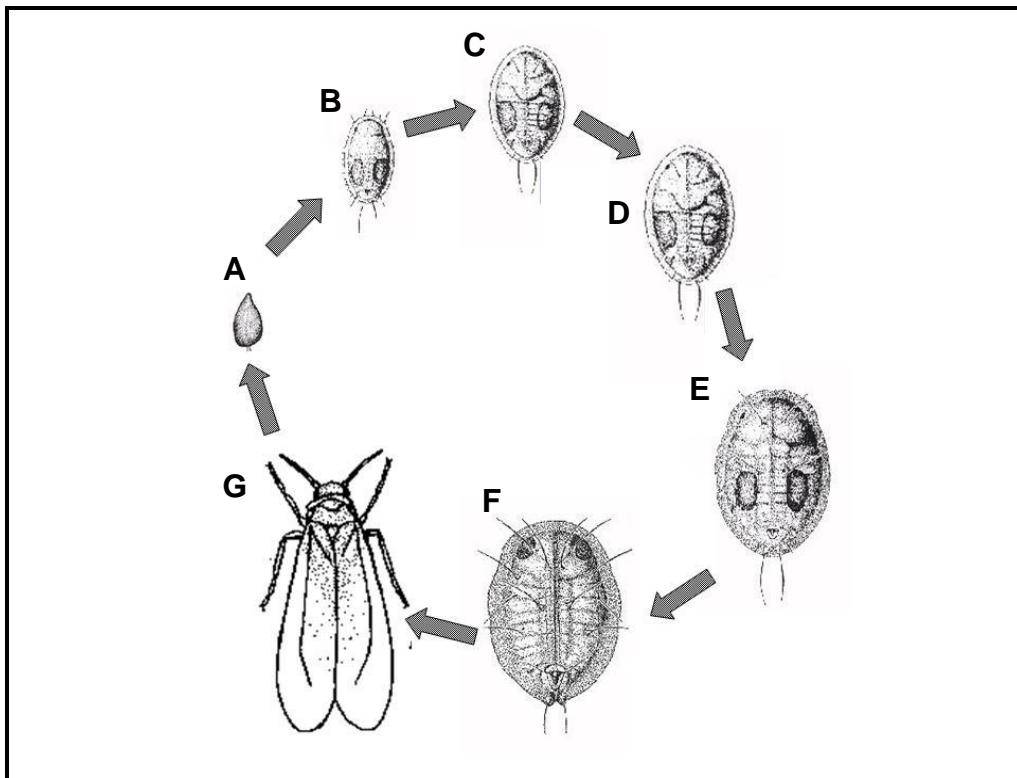


Figura 1.3. Ciclo biológico de *Bemisia tabaci*: A) Huevo; B-E) Ninfas N1 a N4; F) Pupa; G) Adulto. Fuente: Cock (1986).

El periodo de incubación depende fundamentalmente de la temperatura y la humedad relativa. Por otro lado, Avidov (1956) comprobó que el estado de la hoja sobre la que se encuentra adherido el huevo juega un papel decisivo en su viabilidad. Si la hoja se deshidrata la mortalidad de los huevos es total, mientras que si la hoja se mantiene hidratada la viabilidad de los huevos es independiente de la humedad ambiental.

El periodo de incubación es de 3 y 29 días a 28,4 y 14,3 °C, respectivamente (Azab *et al.* 1972). Butler *et al.* (1983) observaron que el periodo de incubación duró 22,5 días a 16,7 °C, 7,6 días a 25 °C y 5 días a 35,5 °C, mientras que situaron su umbral máximo de desarrollo en 36 °C.

Ninfa de primer estadio (N1)

La N1 se denomina también ninfa móvil o *crawler* por su tendencia a desplazarse desde que emerge hasta que encuentra un lugar adecuado para fijarse y empezar a alimentarse. Su cuerpo tiene forma oval y alargada y es de color blanco-amarillento casi transparente, siendo los micetomas muy aparentes a cada lado de la parte abdominal. Su tamaño es de $0,267 \pm 0,007$ mm de longitud y de $0,144 \pm 0,010$ mm de ancho. La parte dorsal es convexa mientras la parte ventral es plana. Según varias descripciones morfológicas (Azab *et al.* 1970; El-Helaly *et al.* 1971), el cuerpo de la ninfa de primer estadio presenta un total de 16 quetas marginales de diferente longitud, 3 pares en la región cefálica, 5 pares sobre el tórax y 8 pares sobre la región abdominal. Existen además un par de quetas anales que son las más largas. Dorsalmente existen además 3 pares de microquetas. El primer par son cefálicas, el segundo abdominales y el tercer par se encuentra sobre el segmento abdominal octavo. También aparecen 3 pares de microquetas ventrales. En este estadio la ninfa posee un par de antenas con tres segmentos y acabadas en punta, 6 patas funcionales de cuatro segmentos y dos ojos simples de color rojo, situados cada uno de ellos a cada lado de la región cefálica. El aparato bucal se localiza entre el primer par de patas y está formado por dos estiletes que corresponden a la mandíbula y los maxilares. El orificio vasiforme, una apertura situada en el último segmento abdominal y típico en las moscas blancas, es semicircular y alargado. La llingula tiene forma de dedo, presenta dos quetas y se proyecta más allá del opérculo. La duración de este estadio depende fundamentalmente de la temperatura (Azab *et al.* 1972). Sharaf y Batta (1985) determinaron que el tiempo de desarrollo de este estadio es de $2,8 \pm 0,2$ días a 25 °C y de $9,0 \pm 0,7$ días a 14 °C.

Ninfa de segundo estadio (N2)

La ninfa de segundo estadio está ya fijada a la hoja de la planta hospedadora. La forma del cuerpo, al igual que el de la N1, es oval y su tamaño es de $0,365 \pm 0,026$ mm de longitud y $0,218 \pm 0,012$ mm de ancho. La parte marginal del cuerpo es crenulada y con respecto a la N1 tan sólo mantiene las quetas antero-laterales, postero-laterales y caudales (Cock 1986). Existen también tres pares de microquetas dorsales. El primer par situado en la región torácica, el segundo sobre el primer segmento abdominal y el tercero sobre el octavo segmento abdominal y justo antes del orificio vasiforme. Además, existe otro par de microquetas dorsales sobre el mesotórax y dos pares ventrales, estando el primero de ellos justo detrás del aparato bucal y el

segundo sobre el octavo segmento abdominal al mismo nivel que el par dorsal. Existen además 3 pares de espiráculos, dos pares en el tórax y el tercer par sobre el octavo segmento abdominal. Los ojos son pequeños, inconspicuos y simples. La antena, que presenta 2 segmentos, se encuentra atrofiada y dirigida hacia atrás. Las patas, que se encuentran igualmente atrofiadas, presentan dos segmentos y carecen de quetas. El aparato bucal se encuentra más desarrollado que en la N1. El orificio vasiforme es triangular, el opérculo semicircular y la llingula es larga, gruesa y provista de 2 quetas muy prominentes. El color del cuerpo es verde-amarillento y los micetomas son completamente visibles. Sharaf y Batta (1985) determinaron que el tiempo de desarrollo de este estadio es de $2,8 \pm 0,1$ días a 25 °C y de $7,0 \pm 0,4$ días a 14 °C.

Ninfa de tercer estadio (N3)

El cuerpo sigue siendo de forma oval y alargado y presenta crenulación marginal. Sus dimensiones son $0,489 \pm 0,022$ mm de longitud y $0,295 \pm 0,018$ mm de ancho. La N3 presenta la misma distribución de quetas que la N2, pero presenta una pequeña constricción alrededor de la región cefálica. Los ojos son circulares y de reducido tamaño. Las antenas se encuentran atrofiadas, dirigidas hacia el centro del cuerpo y tienen una forma semejante a un gancho debido a que el tercer segmento se torna hacia el segundo. El aparato bucal, al igual que en la N2, se localiza entre el primer par de patas y está compuesto por cuatro estiletos, si bien en su base existe una estructura trapezoidal que es más alargada en este estadio que en los previos. Las patas están atrofiadas y sin segmentación aparente. El opérculo vasiforme es de forma triangular y la llingula es larga y se proyecta hacia el opérculo. El color de la ninfa de tercer estadio es igualmente semejante al de la N2 y los micetomas son igualmente visibles. Azab *et al.* (1972) observaron que la duración de este estadio es de 2 a 7 días en función de la temperatura.

Ninfa de cuarto estadio (N4)

La ninfa de cuarto estadio es alargada, elíptica y con la región cefálica de forma semicircular. El cuerpo es delgado, aplanado y con crenulación marginal. Sus dimensiones son $0,662 \pm 0,023$ mm de longitud y de $0,440 \pm 0,003$ mm de ancho. Las quetas marginales o anales, al igual que en la N2 y N3, son las más largas y aparentes. Las quetas dorsales son igualmente aparentes y pueden variar entre 1 y 7 pares en función de la pilosidad de la hoja que sirve como sustrato. En hojas glabras el número de quetas suele ser más reducido (Mound 1963). Cuando aparecen 7 pares

de quetas, 2 pares aparecen sobre la región cefálica, 2 en la región torácica y 3 pares sobre el abdomen. En este estadio se hacen además aparentes una serie de estructuras dorsales y laterales, entre las que se incluyen tubérculos, poros, microporos y abullonamientos que se vuelven más evidentes durante el estadio de pupa. Los ojos continúan siendo pequeños, de forma circular y de color rojo. Las patas están atrofiadas, curvadas y no segmentadas. El orificio vasiforme es triangular y alargado. La llingula, que presenta un par de quetas, se proyecta hacia el opérculo a través de la cauda marginal. El color de la N4 es semejante al de la N3 y los micetomas son igualmente aparentes. La duración del desarrollo de este estadio es de 3,8 días sobre lantana, 3,4 días en judía, 2,2 días en tabaco, 2,1 días sobre algodón y 2,0 días sobre tomate a 25°C, 75% HR y 16:8 de fotoperiodo (L:O) (Cock 1986).

Pupa

No se produce ninguna muda entre los estadios de N4 y pupa, sin embargo existen multitud de diferencias morfológicas entre ambos estadios. El cuerpo continúa siendo de forma elíptica y la región cefálica de forma semicircular. La superficie dorsal es convexa y los segmentos torácicos y abdominales aparentes. Tiene una longitud de unos 0,700 mm y el ancho del cuerpo es $0,376 \pm 0,022$ mm. Las quetas dorsales y marginales son iguales que en la N4, si bien las marginales, salvo el par de quetas anales, que son las más alargadas, son inconspicuas. Cuando aparecen los 7 pares de quetas dorsales su distribución es igual que en la N4. Centralmente aparece un par de microquetas en el octavo segmento abdominal. Los poros y microporos también están presentes en la pupa. La línea de fractura en forma de T invertida, por la que posteriormente emergerá el adulto, es ya visible sobre el cuerpo. Aparecen también orificios traqueales a la altura del primer par de espiráculos en la parte dorsal. Además aparecen otros 4 pares de espiráculos, 2 torácicos y 2 abdominales. El orificio vasiforme es triangular y la llingula se extiende hacia el opérculo a través del surco caudal, el cual aparece tan sólo en este estadio. La superficie de la llingula está cubierta de pequeñas microespinas y está provista en su parte distal por un par de quetas prominentes. Las quetas caudales o anales tienen una longitud mayor a la mitad del surco caudal. En este estadio existe ya un dimorfismo sexual (Pruthi y Samuel 1941; Mound 1963). Ambos sexos pueden ser diferenciados externamente por su tamaño, ya que las hembras proceden de las pupas más grandes y los machos de las más pequeñas. La duración del desarrollo de este estadio es de 2,3 días sobre lantana, 4,4 días en judía, 4,5 días en tabaco, 1,7 días sobre algodón y 2,4 días sobre tomate a 25°C, 75% HR y 16:8 de fotoperiodo (L:O) (Cock 1986).

Adulto

El adulto recién emergido es de color amarillo-blانquecino, adquiriendo en pocas horas un color completamente blanco, debido a la acumulación de ceras de aspecto pulverulento sobre el cuerpo y las alas. Tras la emergencia el adulto tiene las alas replegadas, extendiéndolas totalmente en poco tiempo. La longitud del cuerpo de la hembra adulta es de 0,96 mm mientras que la del macho es de 0,82 mm. La cabeza es de forma aproximadamente cónica, opistognata con la parte más ancha en la zona de inserción de las antenas y estrechándose hacia el aparato bucal. Las antenas están formadas por 7 segmentos y son largas y filiformes. El aparato bucal es de tipo picador-chupador y los ojos son compuestos y de color rojo. Las alas presentan una venación reducida y están totalmente cubiertas de secreciones cerosas de color blanco. Cuando se encuentra en reposo mantiene las alas plegadas formando una especie de tejadillo. Las patas son delgadas, siendo las posteriores las más alargadas. El abdomen es en forma de huso con el orificio vasiforme en posición dorsal, cerca del vértice.



Figura 1.4. Macho (derecha) y hembra (izquierda) de *Bemisia tabaci*. Se diferencian claramente por la forma del abdomen, globosa en la hembra y apuntada en el macho.

El macho es generalmente más pequeño y más delgado que la hembra, diferenciándose además por la genitalia externa. El ovipositor consiste en un par de lóbulos apuntados y cuando está en reposo se encuentra en la parte dorsal sobre el orificio vasiforme. El aparato genital masculino consiste en un edeago y un par de

membranas curvas que se encuentran permanentemente extendidos. El abdomen de la hembra tiene una forma más o menos globosa y oval, mientras que el del macho tiene una forma más apuntada (Fig. 1.4).

La longevidad del adulto de *B. tabaci* ha sido estudiada en diferentes experimentos. Azab *et al.* (1972) determinaron que en función de la temperatura, la longevidad de las hembras varía desde 8 a 60 días y en el caso de los machos entre 2 y 17 días. Por otro lado, Butler *et al.* (1983) encontraron que los machos podían sobrevivir una media de 7,6 y 11,7 días respectivamente a 26,7 y 33,2 °C, mientras que las hembras a dichas temperaturas podían sobrevivir hasta 8 y 10,4 días, respectivamente. Sharaf y Batta (1985) por su parte determinaron que en condiciones estándar de laboratorio (25°C, 60% HR, 16:8 L:O) los machos sobreviven 8,66 días y las hembras 19,75 días.

1.2.4. Fecundidad y periodo de pre-oviposición

La fecundidad de *B. tabaci* depende fundamentalmente de la temperatura y de la planta hospedadora (Sharaf y Batta, 1985). Sharaf y Batta (1985) observaron sobre tomate que a 25 °C la fecundidad total de *B. tabaci* fue de 76,0 huevos, mientras que a 14 °C la fecundidad se redujo hasta 56,4 huevos. Además, estos autores encontraron que el periodo de pre-oviposición fue de 3,6 y 4,9 días respectivamente para 25 y 14 °C y que fecundidad fue mayor sobre tomate que sobre berenjena, tabaco y *Lantana*. Otros autores como Azab *et al.* (1972) observaron una fecundidad media de 161 huevos por hembra sobre patata, mientras Butler *et al.* (1983) establecieron este parámetro en 81 y 72 huevos por hembra a 26,7 y 32,2 °C, respectivamente sobre algodón. Por otro lado, la aplicación de insecticidas y más concretamente la generación de resistencias, también parece tener algún efecto sobre la fecundidad (Cock 1986).

1.2.5. Partenogénesis y proporción de sexos

La reproducción puede ser bisexuada o partenogenética de tipo arrenotoca (Horowitz y Gerling 1992; Perring *et al.* 1993), por lo que las hembras no fecundadas producen una descendencia masculina (Husain y Trehan 1933; Azab *et al.* 1972; Mound 1963; Sharaf y Batta 1985). Se ha observado también que una disminución de la temperatura produce un aumento del porcentaje de hembras en la progenie (Sharaf y Batta 1985). Los apareamientos se producen transcurrido un breve periodo de tiempo

tras la emergencia del adulto. La proporción de sexos puede variar en función de las condiciones ambientales, de la estación del año, etc.

1.2.6. Comportamiento

Durante el invierno y en cultivos al aire libre, *B. tabaci* tiende a trasladarse a otros hospedadores secundarios cuando las plantas cultivadas son retiradas. Estos hospedadores secundarios suelen ser plantas adventicias de porte herbáceo cercanas a los cultivos. Suele pasar el invierno en estadio N4 o pupa, ya que son los más resistentes a las bajas temperaturas (Horowitz y Gerling 1992; Powell y Bellows 1992).

Una vez llega la primavera, los adultos tienden a desplazarse de nuevo hacia los cultivos, momento en el cual comienza a detectarse un incremento de las poblaciones.

Los primeros focos suelen detectarse en los márgenes. Durante este periodo las poblaciones de *B. tabaci* suelen estar compuestas fundamentalmente por hembras, incrementándose el porcentaje de machos en la población de forma paulatina a lo largo del año hasta alcanzarse un 50% durante el otoño (Horowitz y Gerling 1992).

En cultivos jóvenes la distribución espacial de *B. tabaci* a lo largo de la planta es irregular, ya que no existe una diferenciación muy acusada entre las hojas que aparecen en los diferentes estratos. En cultivos más desarrollados la distribución depende de la planta hospedadora y más concretamente del tipo de superficie que tienen sus hojas.

Otro aspecto del comportamiento de *B. tabaci* es su tendencia en cultivos protegidos a desplazarse hacia las zonas más cálidas del invernadero. Así pues, encontraremos a *B. tabaci* en las zonas más cálidas del invernadero y en uno u otro estrato en función del cultivo.

1.2.7. Plantas Hospedadoras

La lista de plantas hospedadoras de *B. tabaci* es muy amplia, englobando un total de más de 500 especies vegetales pertenecientes a 74 familias diferentes (Mound y Hasley 1978). Cock (1986) ofrece una completa revisión sobre especies vegetales sobre las que puede encontrarse a *B. tabaci*.

1.2.8. Daños

En pimiento *B. tabaci* es capaz de producir dos tipos de daños: directos e indirectos (Fig.1.5). Los daños directos son provocados por los estadios ninfales y el adulto al succionar la savia de la planta. Esto puede derivar en un importante debilitamiento y un menor crecimiento de la planta cuando la densidad poblacional de la plaga es elevada. Dicho debilitamiento provoca en último término una importante disminución de la productividad. En las hojas es frecuente observar en el haz de la hoja, en la zona de alimentación, la aparición de manchas cloróticas.

Los daños indirectos causados por *B. tabaci* en pimiento se caracterizan por la aparición de negrilla sobre la melaza previamente excretada por el fitófago. Este daño es más importante cuando la negrilla aparece sobre el fruto.

En otros cultivos como tomate y pepino, *B. tabaci* es especialmente importante también por sus características como vector de varias virosis.



Figura 1.5. Plantas de pimiento fuertemente atacadas por *Bemisia tabaci*.

1.3. El ácaro depredador *A. swirskii*

1.3.1. Descripción taxonómica

Amblyseius swirskii pertenece a la familia Phytoseiidae, que se encuentra dentro del orden de los Parasitiformes, subclase Acari. A la familia de los fitoseidos pertenecen también gran número de especies que, al igual que *A. swirskii*, son depredadoras de multitud de plagas que afectan a gran número de especies cultivadas, siendo el grupo de ácaros que desde un punto de vista agronómico presenta mayor interés.

Las diferentes especies pertenecientes al género *Amblyseius* presentan gran variedad de formas, tamaños y morfología de placas y quetas. Sin embargo, se caracterizan por presentar 4 pares de quetas en los márgenes laterales del podoescudo.

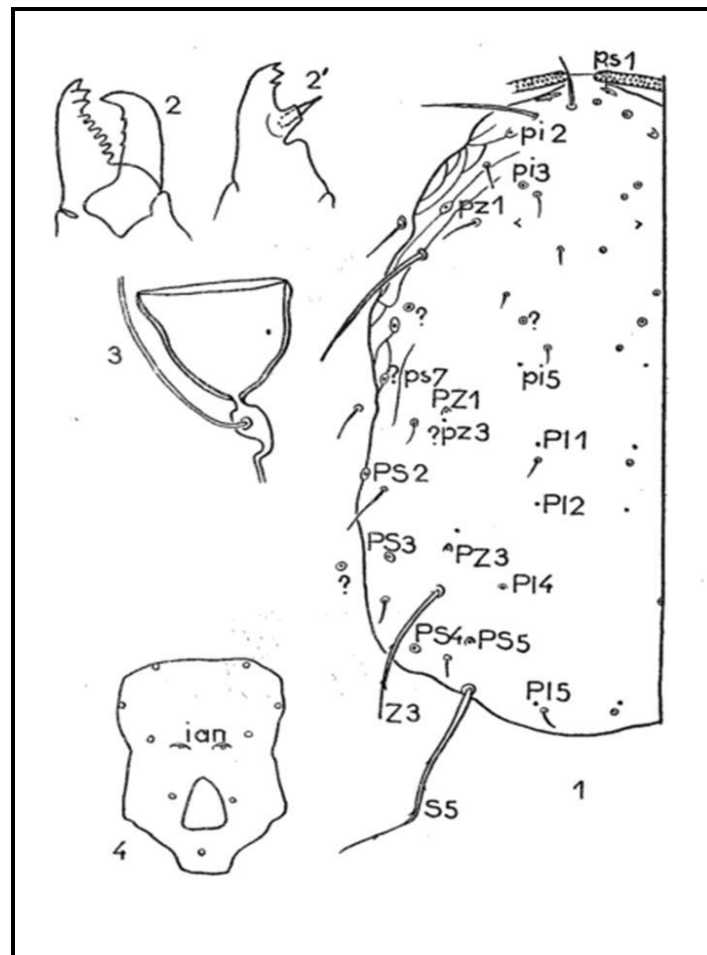


Figura 1.6. Caracteres morfológicos de *Amblyseius swirskii*: Distribución de quetas en las placas dorsal y ventroanal (1 y 4), morfología de la espermateca de la hembra y placa ventroanal (3 y 4) y morfología de los quelíceros (2 y 2'). Fuente: Athias-Henriot 1962; Grinberg et al. 1972.

Las placas dorsales varían desde delgadas y alargadas hasta redondeadas y largas y desde lisas hasta muy esclerotizadas y reticuladas. Las quetas dorsales igualmente pueden ser cortas, delgadas y lisas o largas, gruesas y muy aserradas. El número de pares de quetas en el podoescudo varía entre 8 y 10 y en el opistoescudo desde 5 a 10. Las quetas sublaterales R3 y R1 pueden estar o no sobre la placa dorsal y la R1 está siempre presente. Las placas esternal, genital y ventroanal varían en tamaño y forma. La placa ventroanal puede ser completa o estar subdividida o incluso estar reducida a una simple placa anal. El número y patrón de distribución de las quetas preanales sobre la placa ventroanal, así como el número de quetas alrededor de la placa ventroanal son variables. Existen 1 ó 2 pares de placas metapodales que varían en forma y tamaño. La longitud del peritremo, la forma del cáliz de la espermateca y la dentición de los quelíceros son igualmente variables. En la figura 1.6 se muestra la morfología de algunos de estos órganos en *A. swirskii*.

1.3.2. Origen y distribución

Amblyseius swirskii es una especie originaria de la parte oriental del Mediterráneo y que aparece de forma natural en países como Israel, Italia, Egipto o Chipre en cultivos hortícolas, frutales, algodón, cítricos y flora silvestre. En el litoral de Israel es la especie predominante en cítricos y flora silvestre.

1.3.3. Ciclo biológico

A lo largo de su ciclo biológico *A. swirskii* completa un total de 4 estados de desarrollo: huevo, larva, ninfa y adulto (Fig. 1.7). Swirski *et al.* (1973) realizaron una descripción morfológica detallada de los diferentes estados de desarrollo de *A. swirskii*.

El huevo de *A. swirskii* es oval y de color blanco lechoso. La larva, que presenta tres pares de patas y un par de quetas anales muy aparentes, es de color blanco casi transparente. La protoninfa y la deutoninfa son muy similares, difiriendo básicamente en su tamaño. Ambos estadios presentan 4 pares de patas y van adquiriendo una tonalidad más oscura según se van desarrollando. Finalmente el adulto (Fig. 1.8) es similar a los últimos estadios juveniles, pero de mayor tamaño y de un tono marrón claro a rojizo.

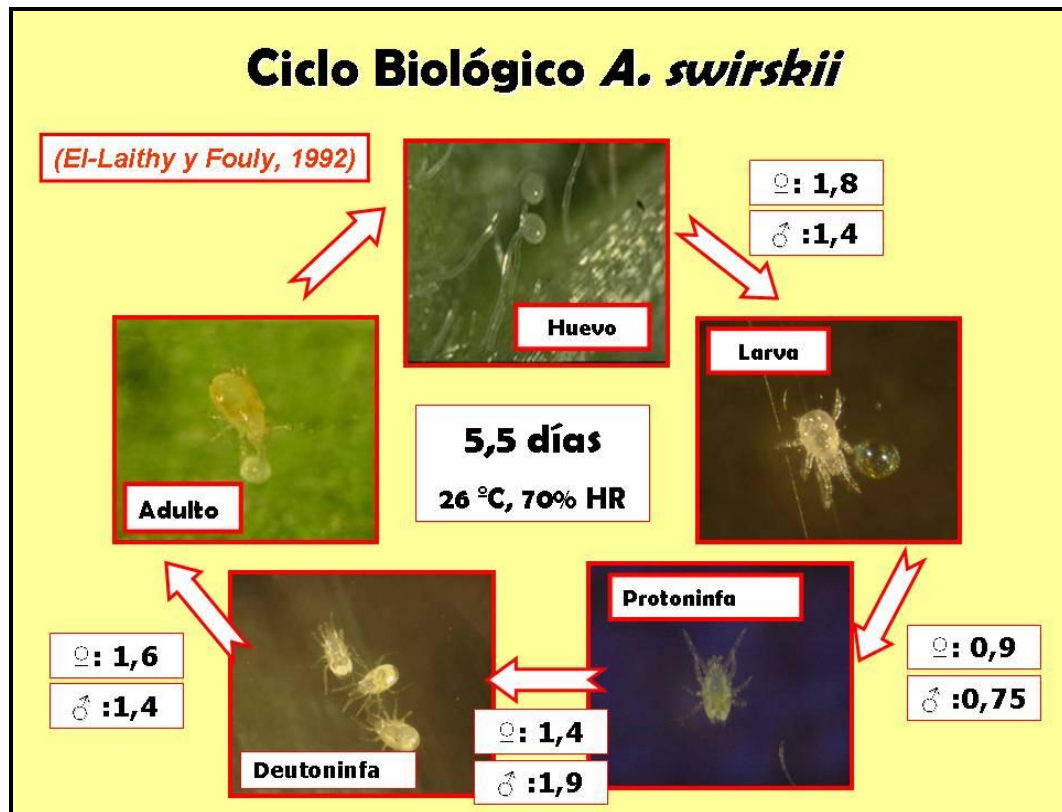


Figura 1.7. Duración y estadios del ciclo biológico de *Amblyseius swirskii* a 25 °C y 70 % HR (El-Laithy y Fouly 1992).

En cuanto a la duración de su ciclo biológico, Nomikou *et al.* (2001) determinaron que *A. swirskii* alimentándose de ninfas de *B. tabaci* completaba su desarrollo de huevo a adulto en 7-8 días a 27°C. Momen y El-Saway (1993), que estudiaron la biología de *A. swirskii* empleando varias fuentes de alimento y a una temperatura de 27°C, comprobaron que el depredador completaba su ciclo biológico en 6,36, 5,71 y 7,73 días y su esperanza de vida era de 54, 52 y 43 días, respectivamente, alimentándose de *T. urticae*, *Eriophyes dioscoridis* (Soliman y Abou-Awad) (Acari: Eriophyidae) y polen. El-Laithy y Fouly (1992), empleando también como presa *T. urticae* y a una temperatura de 26 °C, observaron que *A. swirskii* completaba su ciclo biológico en 5,5 días (Fig. 1.8) y que cada hembra puso una media de 27,8 huevos a lo largo de su periodo de oviposición, el cual duró 22,3 días. Elsayi y Abou-Awad (1992) estudiaron el efecto de la escasez de presa sobre el desarrollo de *A. swirskii*, comprobando que bajo estas condiciones (25-27 °C, *T. urticae* como presa), completó su ciclo biológico en 9 días y su longevidad fue entre 46 y 27 días en función de cuando la disponibilidad de presa fue más o menos reducida. En zonas donde *A. swirskii* aparece de forma natural pueden encontrarse a lo largo de todo el año individuos de todos los estadios. La tasa de oviposición suele disminuir en la época más fría del año, pero aumenta de nuevo cuando lo hace la temperatura (Swirski y Amitai 1997).



Figura 1.8. Adultos de *Amblyseius swirskii* sobre el envés de una hoja de pimiento.

1.3.4. Hábitos alimenticios

Son diversas las referencias que indican que *A. swirskii* puede alimentarse de un amplio abanico de especies plaga. Teich (1966) y Nomikou *et al.* (2001) mostraron la capacidad del depredador para alimentarse de inmaduros de *B. tabaci*. El trips *F. occidentalis*, al igual que la araña roja *T. urticae*, plagas de gran interés agronómico, también están entre las especies de las que *A. swirskii* puede alimentarse (El-Laithy y Fouly 1992; Elsawi y Abou-Awad 1992; Momen y El-Saway 1993; van Houten *et al.* 2005). Swirski y Amitai (1967) realizaron una revisión en la que además de estas especies plaga, *A. swirskii* era capaz de desarrollarse alimentándose de varias especies de eriófidos como *Phyllocoptura oleivora* (Ashmead) (Acari: Eriophyidae), moscas blancas como *Parabemisia myricae* (Kuwana) (Hemiptera: Aleyrodidae), de tetránquidos como *Tetranychus cinnabarinus* Boisduval (Acari: Tetranychidae) o *Eutetranychus orientalis* (Klein) (Acari: Tetranychidae), de lepidópteros como *Prays citri* (Lepidoptera: Hyponomeutidae) o *Spodoptera littoralis* (Boisduval) (Lepidoptera: Noctuidae), de diaspinos como *Aonidiella aurantii* (Maskell) (Hemiptera: Diaspididae), de cóccidos como *Coccus hesperidum* Linnaeus (Hemiptera: Coccidae), *Saissetia oleae* (Olivier) (Hemiptera: Coccidae) o *S. coffeae* (Walter) (Hemiptera: Coccidae) y cochinillas como *Pseudococcus longispinus* Targioni-Tozzetti (Hemiptera: Pseudococcidae). Finalmente, *A. swirskii* es capaz de alimentarse de polen (Swirski y Amitai 1967; Ragusa y Swirski 1975; Mommen y El-Saway 1993; Nomikou *et al.* 2003) y del tarsonémido *P. latus* (Stansly y Castillo 2009).

1.4. Bibliografía

- Altena, K., Ravensberg, W.J., 1990. Integrated Pest Management in the Netherland in sweet pepper from 1985 to 1989. OILB/wprs Bulletin 13. 10-13.
- Athias-Henriot, C., 1962. *Amblyseius swirskii*, un nouveau phytoséiide voisin de *A. andersoni* (Acariens anactinotriches). 7 pp.
- Avidov, Z., 1956. Bionomics of the tobacco whitefly *Bemisia tabaci* Genn. in Israel. Ktawim 7(1). 25-42.
- Azab, A.K., Megahed, M.M., El-Mirsawi, H.D., 1970. Studies on *Bemisia tabaci* (Genn.) (Hemiptera-Homoptera: Aleyrodidae). Bulletin de la Société Entomologique d'Égypte 53. 339-352.
- Azab, A.K., Megahed, M.M., El-Mirsawi, H.D., 1971. On the range of host-plants of *Bemisia tabaci* (Genn.) (Homoptera: Aleyrodidae). Bulletin de la Société Entomologique d'Égypte 54. 319-326.
- Azab, A.K., Megahed, M.M., El-Mirsawi, H.D., 1972. On the biology of *Bemisia tabaci* (Genn.) (Hemiptera-Homoptera: Aleyrodidae). Bulletin de la Société Entomologique d'Égypte 55. 305-315.
- Banks, G.K., Bedford, I.D., Beitia, F., Rodriguez-Cerezo, E., Markham, P.G., 1999. A novel geminivirus of *Ipomoea indica* (Convolvulaceae) from Southern Spain. Plant Disease 83(5). 486.
- Bedford, I.D., Markham, P.G., Brown, J.K., Rosell, R.C., 1994. Geminivirus transmission and biological characterization of whitefly (*Bemisia tabaci*) biotypes from different world regions. Annals of Applied Biology 125. 311. 325.
- Beitia, F., Mayo, I., Robles-Chillida, E.M., Guirao, P., Cenis. J.L., 1997. Current status of *Bemisia tabaci* (Gennadius) in Spain: the presence of biotypes of this species. IOBC/wprs Bulletin 20(4). 99-107.
- Berdiales, B., Bernal, J.J., Celix, A., Beitia, F., Rodríguez-Cerezo, 1999. Occurrence of Cucurbit Yellow Stunting Disorder Virus (CYSDV) and beet pseudo-yellow virus in cucurbit crops in Spain and transmission of CYSDV by biotypes of *Bemisia tabaci*. European Journal of Plant Pathology 105. 211-215.

- Bielza, P., 2008. Insecticide resistance management strategies against the western flower thrips, *Frankliniella occidentalis*. Pest Management Science 64. 1131-1138.
- Brown, J.K., 1994. A global position paper of the status of *Bemisia tabaci* Genn. as a pest and vector in world agroecosystems. FAO Plant Protection Bulletin 42. 3-33.
- Brown, J.K., Coats, S., Bedford, I.D., Markham, P.G., Bird, J., Frohlich, D.R., 1995a. Characterization and distribution of esterase electromorphs in the whitefly *Bemisia tabaci* (Genn.) (Homoptera: Aleyrodidae). Biochemical Genetic 33. 205. 214.
- Brown, J.K., Frohlich, D., Rosell, R., 1995b. The sweetpotato / silverleaf whiteflies: biotypes of *Bemisia tabaci* (Genn.), or a species complex?. Annual Review of Entomology 40. 511. 534.
- Brown, J.K., Perring, T.M., Cooper, A.D., Bedford, I.D., Markham, P.G., 2000. Genetic analysis of *Bemisia* (Homoptera: Aleyrodidae) populations by isoelectric focusing electrophoresis. Biochemical Genetic 38. 13. 25.
- Burban, C., Fishpool, L.D.C, Fauquet, C., Fargette, D., Thouvenel, J.C., 1992. Host associated biotypes within West African populations of the whitefly *Bemisia tabaci* (Genn.), Hom. Aleyrodidae. Journal of Applied Entomology 113. 416. 423.
- Butler et, G.D., Henneberry, T.J., Calyton, T.E., 1983. *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae): development, oviposition and longevity in relation to temperature. Annals of the Entomological Society of America 76. 310-313.
- Butler, G.D., Henneberry, T.J., 1984. *Bemisia tabaci*, effect of cotton leaf pubescence on abundance. Southwestern Entomologist 9(1). 91-94.
- Buxton, J.H., Jacobsen, R., Saynor, M., Storer, M., Wardlow, L., 1990. An Integrated Pest Management programme for peppers; three years trial experience. OILB/wprs Bulletin 13. 45-50.
- Byrne, F.J., Cahill, M., Denholm, I., Devonshire, A.L., 1995. Biochemical identification of interbreeding between B-type and non-B-type strains of the tobacco whitefly *Bemisia tabaci*. Biochemical Genetic 33. 13. 23.

- Cahill, M., Gorman, K., Day, S., Denholm, I., Elbert, A., Nauen, R., 1996a. Baseline determination and detection of resistance to imidacloprid in *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae). Bulletin of Entomological Research 86. 343-349.
- Cahill, M., Jarvis, W., Gorman, K., Denholm, I., 1996b. Resolution of baseline response and documentation of resistance to buprofezin in *Bemisia tabaci* (Hom.: Aleyrodidae). Bulletin of Entomological Research 86. 117-122.
- Calvo, J., Urbaneja, A., 2004. *Nesidiocoris tenuis*, un aliado para el control biológico de la mosca blanca. Horticultura Internacional 44. 20-25.
- Calvo, J., Bolckmans, K., Stansly, P.A., Urbaneja, A., 2009. Predation by *Nesidiocoris tenuis* on *Bemisia tabaci* and injury to tomato. Biocontrol 54(2). 237-246.
- Carnero, A., Montesdeoca, M., Pérez, F., Siverio, A., Rodríguez, P., 1990. Presencia de *Bemisia tabaci* (Genn.) en cultivos comerciales de hortalizas y ornamentales en la Isla de Tenerife (Islas Canarias). Cuadernos de Fitopatología 4º Trimestre 25. 176-180.
- Carnero, A., Peña, M.A, Hernández, M., Torres del Castillo, R., Garrido A., 1994. Preliminary results for the Biological control of *Frankliniella occidentalis* on sweet pepper in Canary Islands. OILB/wprs Bulletin 17(5). 147-152.
- Castañe, C., 2002. Status of biological and integrated control in greenhouses vegetables in Spain: Successes and challenges. IOBC/WPRS Bulletin 25(1). 49-52.
- Claridge, M.F., Dawah, H.A, Wilson, M.R., 1997. Species in insect herbivores and parasitoids-sibling species, host races and biotypes. En: *Species, the Units of Biodiversity*. Editado por M.F., Claridge, H.A., Dawah, M.R., Wilson. Chapman & Hall. London, UK. 247. 272.
- Cock, M.J.W., 1986. *Bemisia tabaci* - A literature survey on the cotton whitefly with an annotated bibliography. FAO Publishing. CAB International Institute of Biological Control. Ascot, U.K. 125 pp.
- Cock, M.J.W., 1993. *Bemisia tabaci* an update 1986-1992 on the cotton whitefly with an annotated bibliography. FAO Publishing. CAB International Institute of Biological Control. Ascot, U.K. 83 pp.

- Costa, H.S., Brown, J.K., Sivasupramaniam, S., Bird, J., 1993. Regional distribution, insecticide resistance, and reciprocal crosses between the A and B biotypes of *Bemisia tabaci*. Insect Science and its Application 14. 127. 138.
- Coudriet, D.L., Prabhaker, N., Kishara, A.N., Meyerdick, D.E., 1985. Variation in development rate on different hosts and overwintering of the sweet potato whitefly *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae). Environmental Entomology 14. 516-519.
- De Barro, P.J., 1995. *Bemisia tabaci* biotype B: a review of its biology, distribution and control. Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization (CSIRO). Canberra, Australia. Technical paper 36. 62 pp.
- De Barro, P.J., Hart, P.J., 2000. Mating interactions between two biotypes of the whitefly, *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae) in Australia. Bulletin of Entomological Research 90. 103. 112.
- De Courcy Williams, M.E., Kravar-Garde, L., Fenlon, J.S., Sunderland, K., 2004. Phytoseiid mites in protected crops: the effect of humidity and food availability on egg hatch and adult life span of *Iphiseius degenerans*, *Neoseiulus cucumeris*, *N. californicus* and *Phytoseiulus persimilis* (Acari: Phytoseiidae). Experimental and Applied Acarology 32(2). 1-13.
- Elbert, A., Nauen, R., 2000. Resistance of *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae) to insecticides in Southern Spain with special reference to neonicotinoids. Pest Management Science 56. 60-64.
- El-Helaly, M.S., El-Shazli, A.H., El Gayer, F.H., 1971. Biological Studies on *Bemisia tabaci* Genn. (Homopt., Aleyrodidae) in Egypt. Zeitschrift für Angewandte Entomologie 69. 48-55.
- El-Laithy, Fouly, A.H., 1992. Life table parameters of two phytoseiid predators *Amblyseius scutalis* (Athias-Henriot) and *A. swirskii* Athias . Henriot. Egyptian Journal of Applied Entomology 113. 8. 12.
- Elsawi, S.A., Abou-Awad, B.A., 1992. Starvation and fertilisation affecting reproduction in *Amblyseius swirskii* Athias-Henriot and *A. gossipi* El-Badry (Acari.: Phytoseiidae). Journal of Applied Entomology 113. 239. 243.

- Espinosa PJ, Bielza P, Contreras C, Lacasa A., 2002a. Insecticide resistance in field populations of *Frankliniella occidentalis* (Pergande) in Murcia (south-east Spain). Pest Management Science 58. 967-971.
- Espinosa PJ, Bielza P, Contreras J, Lacasa A., 2002b. Field and laboratory selection of *Frankliniella occidentalis* (Pergande) for resistance to insecticides. Pest Management Science 58. 920-927.
- F.A.O., 2009. Base de Datos de Producción Agrícola por Cultivo. Organización de las Naciones Unidas Para la Agricultura y la Alimentación. faostat.fao.org/site/567/default.aspx#ancor. Consulta Abril 2009.
- Fernández, E., Gravalos, C., Haro, P.J., Cifuentes, D., Bielza, P., 2009. Insecticide resistance status of *Bemisia tabaci* Q-biotype in south-eastern Spain. Pest Management Science 65. 885-891.
- Fischer, S., Linder, C., Freuler, J., 1992. Biologie et utilisation de la punaise *Orius majusculus* Reuter (Heteroptera, Anthocoridae) dans la lutte contre les thrips *Frankliniella occidentalis* Pergande et *Thrips tabaci* Lind. En serre. Revue suisse Viticulturae et Horiticulturae 24. 119-127.
- Fishpool, L.D.C., Burban, C., 1994. *Bemisia tabaci* the whitefly vector of African cassava mosaic geminivirus. Tropical Science 34. 55-72.
- Frohlich, D.R., Torres-Jerez, I., Bedford, I.D., Markham, P.G, Brown, J.K., 1999. A phylogeographical analysis of the *Bemisia tabaci* species complex based on mitochondrial DNA markers. Molecular Entomology 8. 1683. 1691.
- Gennadius, P., 1889. Disease of tobacco plantations in the Trikonía. The aleyrodid of tobacco. Ellenike Georgia 5. 1. 3.
- Gerling, D., Alomar, O., Arnó, J., 2001. Biological control of *Bemisia tabaci* using predators and parasitoids. Crop Protection 20. 779-799.
- Gilkenson, L.A., Morewood, W.D., Elliot, D.E., 1990. Currents status of biological control of thrips in Canadian greenhouses with *Amblyseius cucumeris* and *Orius tristicolor*. OILB/wprs Bulletin 13. 71-75.

- Gill, R.J., 1990. The morphology of whiteflies. En: *Whiteflies: their Bionomics, Pest Status and Management*. Editado por D. Gerling. Intercept Ltd. Andover, Hants, UK. 13. 46.
- Gill, R.J., 1992. A review of the sweetpotato whitefly in southern California. *Pan-Pacific Entomology* 68. 144. 152.
- Gómez-Menor, 1943. Contribución al conocimiento de los Aleyrodidos de España (Hem., Homoptera). 1ª Nota. *Eos* 19. 173-209.
- Gotoh, T., Nozawa, M., Yamaguchi, K., 2004. Prey consumption and functional response of three acarophagous species to eggs of the two-spotted spider mite in the laboratory. *Applied Entomology and Zoology* 39. 97-105.
- Goula, M., 1985. *Cyrtopeltis (Nesidiocoris) tenuis* Reuter, 1985 (Heteroptera: Miridae), nueva cita para la Península Ibérica. *Boletín da Sociedade portuguesa de Entomologie* 1(3). 93-102.
- Greene, I.D., Parrella, M.P., 1993. An entomophilic nematode, *Thripinema nicklewoodii* and an endoparasitic wasp, *Ceranisus* sp. parasitizing *Frankliniella occidentalis* in California. *OILB/wprs Bulletin* 16. 47-50.
- Grinberg, T., Swirski E. Amitai, S., 1972. A Key to the Predaceous Mites (Acarina: Phytoseiidae) of Wild Vegetation in Israel. Agricultural Research Organization, The Volcani Center, Division of Scientific Publications. Special Publication 16. 63 pp.
- Guirao, P., Beitia, P., Cenis, J.L., 1997. Biotype determination of Spanish populations of *Bemisia tabaci*. *Bulletin of Entomological Research* 87. 587-593.
- Heinz, K.M., van Driesche, R.G., Parella, M.P., 2004. Biocontrol in protected culture. Ball Publishing. Batavias, Illinois. 552 pp.
- Hidalgo, O., León, G., Lindo, O., Vaughan, M., 1975. Informe de la Misión de Estudio de la Mosca Blanca. Comisión Nacional del Algodón y Ministerio de Agricultura y Ganadería. Managua, Nicaragua. 120 pp.
- Horowitz, A.R., Gerling, D., 1992. Seasonal variation of sex ratio in *Bemisia tabaci* on cotton in Israel. *Environmental Entomology* 21. 556-559.

- Horowitz, A.R., Konstedalov, S., Denholm, I., Ishaaya, I., 2002. Dynamics of insecticide resistance in *Bemisia tabaci*: a case of study with insect growth regulator pyriproxifen. *Pest Management Science* 58(11). 1096-1100.
- Husain., M.A., Trehan, K.N., 1933. Observations on the life-history, bionomics and control of the whiefly of cotton (*Bemisia gossypiperda* M. & L.). *Indian Journal of Agricultural Science* 3. 701-753.
- Jacobson, R., 1993. Control of *Frankliniella occidentalis* with *Orius majusculus* experiences during the first full Seaton commercial use in the UK. *OILB/wprs Bulletin* 16. 185-188.
- Jensen, S.E., 2000. Insecticide resistance in the western flower thrips, *Frankliniella occidentalis*. *Integrated Pest Management Reviews* 5. 131-146.
- Lacasa, A., Contreras, J., 1993. Comportamiento de *Frankliniella occidentalis* en la transmisión del virus del bronceado del tomate: planteamientos para su control. *Phytoma España* 50. 33-39.
- Lacasa, A., Sánchez, J.A., 2002. El estado actual del control integrado de los tisaópteros en cultivos de invernadero. La situación del pimiento. *Phytoma-España* 135. 101-105.
- Lacasa, A., Torres, J., Martínez, M.C., 1991. La implicación de *Frankliniella occidentalis* en la diseminación del virus del bronceado del tomate (TSWV) en los cultivos Murcianos. *Agrícola Vergel* 122. 203 . 209.
- Lane, R., 1997. The species concept in blood-sucking vectors of human diseases. En *Species, the Units of Biodiversity*. Editado por M.F., Claridge, H.A., Dawah, M.R., Wilson. Chapman & Hall. London, UK. 273-289.
- Loomans, A.J.M., 1991. Collection and first evaluation of hymenopterous parasites of thrips as biological control agents of *Frankliniella occidentalis*. *OILB/wprs Bulletin* 14. 73-82.
- Loomans, A.J.M., van Lenteren, J.C., 1990. Hymenopterous parasites as biological control agents of *Frankliniella occidentalis* (Pergande)? . *OILB/wprs Bulletin* 13. 109-114.

- Loomans, A.L.M., Paris, A., van Lenteren, J.C., 1993. Influence of size of *Frankliniella occidentalis* (Thys.: Thripidae) larvae on host acceptance by *Ceranisis menes* (Hym.: Eulophidae). OILB/wprs Bulletin 16. 101-104.
- Loomans, A.J.M., van Leteren, J.C., Tommasini, M.G., Maini, S., Riudavets, J., 1995. Biological Control of thrips pests. Wageningen Agricultural University Papers. Wageningen, Países Bajos. 201 pp.
- Martin, J.H., 1987. An identification guide to common whitefly pest species of the World (Homoptera: Aleyrodidae). Tropical Pest Management 33. 298-322.
- MARM, 2007. Anuario de Estadística Agroalimentaria 2007. Ministerio de Medio Ambiente Medio Rural y Marino. www.mapa.es/es/estadistica/pags/anuario/2007. Consulta Abril 2009.
- MARM, 2009. Registro de Productos Fitosanitarios. Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación. www.mapa.es/es/agricultura/pags/fitos/registro/menu.asp. Consulta Abril 2009.
- Momen, F.M., El-Saway, S.A., 1993. Biology and feeding behaviour of the predatory mite *Amblyseius swirskii* (Acari: phytoseiidae). Acarologia 34(3). 199-204.
- Monserat, A., Lacasa, A., Vicente, F., 1998. Normas técnicas de producción integrada en pimiento de invernadero. Orden de 10 de Junio de 1998. BORM 138 del 18-06-1998.
- Morewood, W.D., Gilkeson, M., 1991. Diapause induction in the thrips predator *Amblyseius cucumeris* (Acarina: phytoseiidae) under greenhouse conditions. Biocontrol 36(2). 253-263.
- Mound, L.A., 1963. Host-correlated variation in *Bemisia tabaci* (Gennadius) (Homoptera: Aleyrodidae). Proceedings of the Royal Entomological Society of London 38. 10. 12.
- Mound, L.A., Hasley, S.H., 1978. Whitefly of the World. British Museum of Natural History and Wiley. New York, USA. 340pp.
- Murai, T., 1990. Rearing method and biology of thrips parasitoids. OILB/wprs Bulletin 13. 142-146.

- Nauen, R., Denholm, I., 2005. Resistance of insect pest to neonicotinoid insecticides: current status and future prospects. *Archives of Insect Biochemistry and Physiology* 58(4). 200-215.
- Nombella, G., Beitia, F., Muñoz, M., 2000. A differential interaction on commercial tomato varieties with or without the Mi resistance gen, and comparative host response with the B-biotype. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 98. 339-344.
- Nomikou, M., Janssen, A., Schraag, R., Sabelis, M.W., 2001. Phytoseiid predators as potential biological control agents for *Bemisia tabaci*. *Experimental and Applied Acarology* 25. 271-291.
- Nomikou, M., Janssen, A., Schraag, R., Sabelis, M.W., 2002. Phytoseiid predators suppress population of *Bemisia tabaci* in the presence of alternative food. *Experimental and Applied Acarology* 27. 57-68.
- Nomikou, M., Janssen, A., Schraag, R., Sabelis, M.W., 2003. Phytoseiid predators of whiteflies feed and reproduce on non-prey food sources. *Experimental and Applied Acarology* 31. 15-26.
- Nomikou, M., Janssen, A., Schraag, R., Sabelis, M.W., 2004. Vulnerability of *Bemisia tabaci* immatures to phytoseiid predators: Consequences for oviposition and influence of alternative food. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 110. 95-102.
- Overmeer, W.P.J., 1985. Rearing and Handling. En *World crop pests, vol. 1B. Spider mites: their biology, natural enemies and control*. Editado por Helle, W., Sabelis M.W. Elsevier. Amsterdam, The Netherlands. 161-169.
- Palumbo, J.C., Horowitz, A.R., Prabhaker, N., 2001. Insecticidal control and resistance management for *Bemisia tabaci*. *Crop Protection* 20. 739-765.
- Perring, T.M., 2001. The *Bemisia tabaci* species complex. *Crop Protection* 20. 725-737.
- Perring, T.M., Cooper, A.D., Rodriguez, R.J., Farrar, C.A., Bellows Jr., T.S., 1993. Identification of a whitefly species by genomic and behavioural studies. *Science* 259. 74. 77.

- Powell, D.A., Bellows, T.S., 1992. Adult longevity, fertility and population growth rates for *Bemisia tabaci* (Genn.) (Homoptera:Aleyrodidae) on two host plant species. Journal of Applied Entomology 113. 67-78.
- Pruthi, H.S., Samuel, C.K., 1941. Entomological investigations on the leaf-curl disease of tobacco in northern India. IV Transmission of disease by whitefly (*Bemisia gossypiperda*) from some new alternate hosts. Indian Journal of Agricultural Science 11. 387-409.
- Quaintance, A.L., 1900. Contribution towards a monograph of the American Aleyrodidae. Technical Series. Bureau of Entomology, United States Department of Agriculture 8. 9-64.
- Quaintance, A.L., Baker, A.C., 1914. Classification of the Aleyrodidae Part II. US Department of Agriculture. Technical Series Bureau Agriculture 27. 95-109.
- Ragusa, S., Swirski, E., 1975. Feeding habits, development and oviposition of the predacious mite *Amblyseius swirskii* Athias-Henriot (Acarina: Phytoseiidae) on pollen of various weeds. Israel Journal of Entomology 10. 93-103.
- Ramakers, P.M.J., 1983. Mass Production and introduction of *Amblyseius mckenziei* and *A. cucumeris*. OILB/wprs Bulletin 6. 203-206.
- Ramakers, P.M.F., 1993. Coexistence of two predators, the anthocorid *Orius insidiosus* and the phytoseiid *Amblyseius cucumeris* on sweet pepper. OILB/wprs Bulletin 16. 133-136.
- Ramakers, P.M.J., Dissevelt, M., Peeters, K., 1989. Large scale introductions of phytoseiid predators to control thrips on cucumber. Facultad de Agronomía, Universidad de Gent 54. 923-929.
- Rapisarda, C. 1990. La *Bemisia tabaci* vettore del TYLCV in Sicilia. Informatore Fitopatológico 6. 27-31.
- Richards, O.W., Davies, R.G., 1977. General textbook of entomology. Tenth edition. Chapman & Hall. London, U.K. 1354 pp.
- Rodríguez, M.J., Fidalgo, B., 1993. Aplicación de un esquema de lucha integrada para el control de *Frankliniella occidentalis* en el cultivo de pimiento bajo abrigo. Agrícola Vergel Septiembre. 480-489.

- Rodríguez-Rodríguez, M.D., 1988. Inventario de artrópodos recogidos e identificados en Almería. *Phytoma España* 4. 40-46.
- Rodríguez-Rodríguez, M.D., 1991. Experiencias prácticas en programas de control integrado en los cultivos protegidos de Almería. *Phytoma España* 29. 12-15.
- Rodríguez-Rodríguez, M.D., 1994. Aleiródidos. En: *Sanidad vegetal en la horticultura protegida*. Ed. R. Moreno, Junta de Andalucía. Consejería de Agricultura y Pesca. Sevilla. 123-154.
- Ronda, M., Adan, A., Cifuentes, D., Cenis, J.L., Beitia, F., 1999. Laboratory evidence of interbreeding between biotypes of *Bemisia tabaci* (Homoptera, Aleyrodidae) present in Spain. VII International Plant Virus Epidemiology Symposium. Aguadulce (Almería), 11-16 Abril, 1999.
- Rosell, R.C., Bedford, I.D., Frohlich, D.R., Gill, R.J., Brown, J.K., Markham, P.G., 1997. Analysis of morphological variation in distinct populations of *Bemisia tabaci* (Homoptera : Aleyrodidae). *Annals of the Entomological Society of America* 90(5). 1-15.
- Ruberson, J.R., Bush, L., Kring, T.J., 1991. Photoperiodic effect on diapause induction and development in the predator *Orius insidiosus* (Heteroptera: Anthocoridae). *Environmental Entomology* 20. 786-789.
- Russell, L.M., 1948. The North American species of whiteflies of the genus *Trialeurodes*. Miscellaneous Publications. United States Department of Agriculture 635. 85 pp.
- Russell, L.M., 1958. Synonyms of *Bemisia tabaci* (Gennadius) (Homoptera, Aleyrodidae). *Bulletin of the Brooklyn Entomological Society* 52(5). 122-123.
- Russell, L.M., 1975. Collection records of *Bemisia tabaci* (Gennadius) in the United States (Hemiptera: Homoptera: Aleyrodidae). *Cooperative Economic Insect Report* 25(12). 229-230.
- Sánchez, J.A., Lacasa, A., Arnó, J., Castañé, C., Alomar, O., 2009. Life history parameters for *Nesidiocoris tenuis* Reuter (Het., Miridae) under different temperatures regimes. *Journal of Applied Entomology* 133. 125-132.

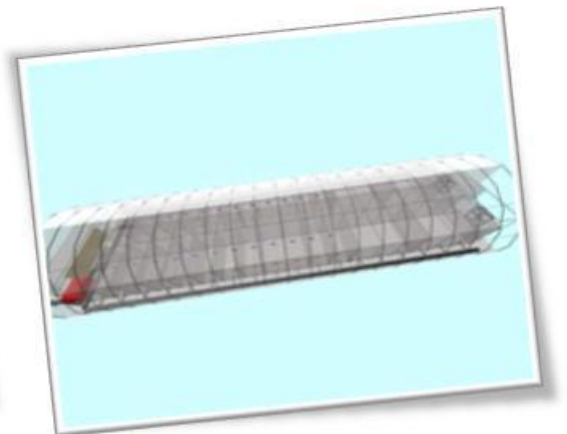
- Sánchez, J.M., Garijo, C., García, E.J., 1991. Moscas blancas. En: *Plagas de tomate: Bases para el control integrado*. M.A.P.A. Secretaría General Técnica. Madrid, España. 37-52.
- Sharaf, N., Batta, Y., 1985. Effect of some factors on the relationship between the whitefly *Bemisia tabaci* Genn. (Homopt., Aleyrodidae) and the parasitoid *Eretmocerus mundus* Mercet (Hymenopt., Aphelinidae). *Zeitschrift für Angewandte Entomologie* 99. 267-276.
- Stansly, P.A., Castillo, J., 2009. Control of Broad Mite, *Polyphagotarsonemus latus* and the Whitefly *Bemisia tabaci* in Open Field Pepper and Eggplant with Predaceous Mites. *OILB/wprs Bulletin* 49. 203-206.
- Stansly, P.A., Calvo, F.J., Urbaneja, A., 2005. Augmentative biological control of *Bemisia tabaci* biotype Ω in Spanish greenhouse pepper production using *Eretmocerus* spp. *Crop Protection* 24. 829-835.
- Swirski, E., Amitai, S., 1997. Annotated list of phytoseiid mites (Mesogigmata: Phytoseiidae) in Israel. *Israel Journal of Entomology* 31. 21-46.
- Swirski, E., Ragusa, S., van Emden, H., Wysoki, M., 1973. Description of immature stages of three predaceous mites belonging to the genus *Amblyseius* Berlese (Mesogigmata: Phytoseiidae). *Israel Journal of Entomology* 8. 69-87.
- Swirskii, E., Amitai, S., Dorzia, N., 1967. Laboratory studies on the feeding, development and reproduction of the predaceous mites *Amblyseius rubini* Swirski and Amitai and *Amblyseius swirskii* Athias-Henriot (Acarina: Phytoseiidae) on various kinds of food substances. *Israel Journal of Agricultural Research* 17(2). 101-118.
- Takahashi, R., 1936. Some Aleyrodidae, Aphididae, Coccidae (Homoptera), and Thysanoptera from Micronesia. *Tenthredo* 1(2). 109. 120.
- Tapia, G., Téllez, M.M., 2005. Lucha integrada: la mosca tigre, un depredador en los invernaderos de Almería. *Horticultura* 183. 42-45.
- Tavella, L., Alma, A., Arzone, A., 1994. Attività predacide di *Orius* spp. (Anthocoridae) su *Frankliniella occidentalis* (Pergande) (Thripidae) in coltura protetta di peperone. *Informatore Fitopatologico* 1. 40-43.

- Teich, Y., 1966. Mites of the family phytoseiidae as predators of the tobacco whitefly, *Bemisia tabaci* Gennadius. Israel Journal of Agricultural Research 16(3). 141-142.
- Teiller, A.J., Steiner, M.Y., 1990. Control of the western flower thrips, *Frankliniella occidentalis* (Pergande), with a native predator *Orius tristicolor* (White) in greenhouse cucumber and pepper in Alberta, Canada. OILB/wprs Bulletin 13. 209-211.
- Urbaneja, A., León, F.J., Giménez, A., Arán, E., van der Blom, J., 2003. Interacción de *Neoseiulus* (*Amblyseius*) *cucumeris* Oudemans (Acari.: Phytoseiidae) en la instalación de *Orius laevigatus* Fieber (Hem.: Anthocoridae) en invernaderos de pimiento. Boletín de Sanidad Vegetal Plagas 29. 347-357.
- Urbaneja, A., Tapia, G., Stansly, P.A., 2005. Influence of host plant and prey availability on developmental time and survival of *Nesidiocoris tenuis* Reuter (Het.: Miridae). Biocontrol Science and Technology 15(5). 513-518.
- Usín, C., Guirao, P., Esteban, J., Cifuentes, D., Beitia, F., 1997. Inducción diferencial de ~~plateado~~ en variedades de calabacín, por diversas poblaciones de *Bemisia tabaci* (Gennadius) (Homoptera, Aleyrodidae). Boletín de Sanidad Vegetal Plagas 23(4). 551-556.
- Vacante, V., Tropea-Garzía, G.T., 1993. Impiego programmato di *Amblyseius cucumeris* (Oudemans) control *Frankliniella occidentalis* (Pergande) su peperone in serra fredda. Colture Pretette 22. 23-32.
- Van de Veire, M., Degheele, D., 1993. Control of western flower thrips, *Frankliniella occidentalis* with the predator *Orius insidiosus* on sweet pepper. OILB/wprs Bulletin 16. 185-188.
- Van den Meiracker, R.A.F., 1994. Induction and termination of diapause in *Orius* predatory bugs. Entomologia Experimentalis et Applicata 73. 127-137.
- Van den Meiracker, R.A.F., Ramakers, P.M.F., 1991. Biological control of the western flower thrips *Frankliniella occidentalis*, in sweet pepper, with the anthocorid predator *Orius insidiosus*. Facultad de Agronomía, Universidad de Gent 56. 241-249.

- Van der Blom, J., 2002. La introducción artificial de la fauna auxiliar en cultivos agrícolas. *Boletín Sanidad Vegetal Plagas* 28. 109-120.
- Van der Blom, J., 2005. Control biológico en cultivos bajo abrigo. *Horticultura* 189. 10-17.
- Van Houten, Y.M., van Stratum, P., 1993. Biological control of western flower thrips in greenhouse sweet pepper using non-diapausing predatory mites. *OILB/wprs Bulletin* 16. 77-80.
- Van Houten, Y.M., Ostlie, M.L., Hoogerbrugge, H., Bolckmans, K., 2005. Biological control of western flower thrips on sweet pepper using the predatory mites *Amblyseius cucumeris*, *Iphiseius degenerans*, *A. andersoni* and *A. swirskii*. *IOBC/wprs Bulletin* 28(1). 283-286.
- Van Lenteren, J.C., 2002. Success in Biological Control of Arthropods by Augmentation of Natural enemies. En: *Biological Control: Measures of Success*. Editado por G. Guff y S.D. Wratten. Springer Press. Berlin, Germany. 77-104.
- Van Lenteren, J.,C., 2003. Quality Control and Production of Biological Control Agents: Theory and Testing Procedures. CABI Publishing. Wallingford, UK. 327 pp.
- Woodward, T.E., Evans, J.W., Easthop, V.F., 1970. Hemiptera. En: *The Insects of Australia*. Editado por Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization (CSIRO). Melbourne University Press. Melbourne, Australia. 387-457.
- Wool, D., Gerling, D., Bellotti, A., Morales, F., Nolt, B., 1991. Spatial and temporal genetic variation in populations of the whitefly *Bemisia tabaci* (Genn.) in Israel and Columbia: an interim report. *Insect Science and its Application* 12. 225-230.
- Wool, D., Calvert, L., Constantino, L.M., Bellotti, A.C., Gerling, D., 1994. Differentiation of *Bemisia tabaci* (Genn.) (Hom., Aleyrodidae) populations in Colombia. *Journal of Applied Entomology* 117. 122-136.
- Zhao G., Liu W., Brown J.M. and Knowles C.O., 1995. Insecticide resistance in field and laboratory strains of western flower thrips (Thysanoptera: Thripidae). *Journal of Economical Entomology* 88(6). 1164-1170.

Capítulo 2

Evaluación en condiciones de semicampo del establecimiento de *Amblyseius swirskii* Athias-Henriot (Acari: Phytoseiidae) en pimiento en presencia de *Bemisia tabaci* Gennadius (Hemiptera: Aleyrodidae)



2.1. Introducción

El pimiento es un cultivo de gran interés económico en la Región de Murcia y la provincia de Almería. En ambas zonas se concentra más del 60% de la producción total nacional, dedicándose a su cultivo más de 8500 ha de superficie invernada (MARM 2007).

Son diversos los fitófagos que pueden causar daños de importancia económica en este cultivo, destacándose el trips *Frankliniella occidentalis* (Pergande) (Thysanoptera: Thripidae) y la mosca blanca *Bemisia tabaci* (Genn.) (Hemiptera: Aleyrodidae). El primero causa importantes daños directos, pero es más importante por su condición de vector del virus del bronceado del tomate (Tomato Spotted Wilt Virus; TSWV) (Lacasa *et al.* 1991; Lacasa y Contreras 1993). La mosca blanca es importante tanto por sus daños directos como indirectos. Estos se caracterizan por la absorción de savia que debilita la planta y por el desarrollo de negrilla sobre la melaza previamente excretada por el fitófago, lo que puede debilitar aún más la planta y producir una merma importante de la calidad estética de los frutos.

El control de ambas especies se ha basado tradicionalmente en el control químico. Sin embargo, este tipo de manejo presenta multitud de inconvenientes que hace necesaria la búsqueda de alternativas igualmente eficaces. En este sentido, las estrategias de control integrado pueden resultar muy interesantes. La combinación de enemigos naturales y plaguicidas es una técnica ya ampliamente utilizada con éxito en todo el mundo (Heinz *et al.* 2004). La integración de enemigos naturales en la estrategia de control ayuda a reducir de forma significativa el número de aplicaciones de plaguicidas. Además, los que se utilizan son de tipo selectivo, que resultan mucho más respetuosos con el medio ambiente y con los enemigos naturales introducidos. Sin embargo, también en muchos casos el uso de agentes de control biológico ha resultado exitoso y ha posibilitado un control efectivo de la plaga objetivo sin necesidad de emplear otras medidas de control complementarias (DeBach 1964; Huffaker y Messenger 1976; DeBach y Rosen 1991; van Driesche y Bellows 1996; van Lenteren 2002; Collier y van Steenwyk 2004; Stiling y Cornelissen 2005). El uso exclusivo de agentes de control biológico resulta muy interesante puesto que la estrategia es más saludable para todos los componentes de la cadena alimenticia.

En pimiento el uso del antocórido *Orius laevigatus* Fieber (Hem.: Anthocoridae) y su combinación con el ácaro depredador *Neoseiulus cucumeris* Oudemans (Acari:

Phytoseiidae) han demostrado una alta eficacia en el control de *F. occidentalis* (Sánchez *et al.* 1995; Lacasa y Sánchez 2002; Lara *et al.* 2002). Del mismo modo, una estrategia basada en introducciones de tipo aumentativas del afelínido *Eretmocerus mundus* Mercet (Hymenoptera: Aphelinidae) se ha demostrado eficaz frente a *B. tabaci* (Stansly *et al.* 2005a, 2005b). Este hecho ha contribuido de forma importante al incremento de la superficie de pimiento en la que se liberan enemigos naturales como base del control de plagas. Sin embargo, dicho incremento ha sido desigual en las dos principales áreas productoras de nuestro país. En Campo de Cartagena desde el año 2001 se vienen liberando organismos de control biológico en la mayor parte de la superficie, mientras que en Almería en 2005 este porcentaje era tan solo del 5% (van der Blom 2008).

En Campo de Cartagena la introducción de los enemigos naturales antes mencionados, unidos a la utilización puntual de algún insecticida frente a mosca blanca, garantizan generalmente un buen control de las principales plagas, mientras en Almería la situación es diferente. Aquí, las liberaciones de *E. mundus* no son suficientes para ejercer un buen control de *B. tabaci*, requiriéndose aplicaciones frecuentes de insecticidas para mantener sus poblaciones bajo control. Esto imposibilita en muchos casos el establecimiento del conjunto de enemigos naturales necesario para controlar las diferentes plagas. Así pues, el control integrado basado en el empleo de enemigos naturales no se mostraba como una alternativa fiable al control químico convencional para los agricultores almerienses, lo que limitaba su expansión.

La introducción de nuevos agentes de control biológico que incrementasen la eficacia frente a *B. tabaci* podría aumentar las garantías de éxito del control biológico, lo que en último término podría mostrar al agricultor esta técnica como una alternativa interesante.

Existe una extensa lista de enemigos naturales conocidos de *B. tabaci* (Gerling *et al.* 2001). De entre ellos, el ácaro fitoseido *Amblyseius swirskii* Athias-Henriot (Acari: Phytoseiidae), que ya fue señalado como depredador de esta plaga (Teich 1966; Swirski *et al.* 1967; Swirski y Amitai 1997), ha sido recientemente mostrado, a partir de diversos estudios, como un enemigo natural con grandes posibilidades como agente de control biológico de esta plaga y de *F. occidentalis* (Nomikou *et al.* 2001, 2002, 2003; van Houten *et al.* 2005; Messelink *et al.* 2006, 2008).

Los fitoseidos no son un grupo de depredadores muy voraz en comparación con otros insectos depredadores (Gotoh *et al.* 2004). Sin embargo, diversas características como su reducido tiempo de desarrollo, elevada supervivencia, elevada tasa de desarrollo, su capacidad de sobrevivir en condiciones de baja disponibilidad de presa y su relativamente mayor facilidad para ser criados en masa, los convierten en un grupo especialmente interesante para el control biológico (Overmeer 1985; van Lenteren 2003). En cualquier caso, *A. swirskii* no es tan solo interesante para pimiento por su actividad depredadora sobre mosca blanca y trips, sino también por su capacidad para alimentarse de polen y de otras especies plaga como *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) y *Polyphagotarsonemus latus* Banks (Acari: Tarsonemidae) (Swirski *et al.* 1967; Ragusa y Swirski 1975; Hoda *et al.* 1986; Momen y El-Saway 1993; Nomikou *et al.* 2002, 2003; Stansly y Castillo 2009). Dicha capacidad permite su liberación preventiva en el cultivo y su supervivencia a expensas de otras fuentes de alimento. Todo ello justificaba la puesta en marcha de diversos estudios encaminados a determinar las posibilidades reales de *A. swirskii* frente a *B. tabaci*.

Uno de los primeros pasos a la hora de estudiar las posibilidades de un enemigo natural como agente de control de una determinada plaga en un determinado cultivo y una vez realizados estudios previos de laboratorio y sobre plantas aisladas como en el caso de *A. swirskii* (Nomikou *et al.* 2001, 2002, 2003, 2004), es el estudio de su capacidad para establecerse en dicho cultivo a expensas de la plaga objetivo. Dicha capacidad puede verse afectada por la dosis de suelta empleada (Crowder 2007), la cual puede también condicionar la idoneidad o no del empleo de un determinado agente de control biológico desde un punto de vista económico.

Bajo dichas premisas se llevó a cabo el presente experimento, en el que en condiciones de semicampo y sobre pimiento se evaluaron dos dosis de suelta de *A. swirskii* frente a un tratamiento control sin introducción del depredador. Todo ello, para evaluar su capacidad para establecerse en el cultivo en presencia de *B. tabaci* y obtener una primera idea acerca de su capacidad para controlar al fitófago.

2.2. Material y métodos

2.2.1. Invernadero de ensayo

El experimento se realizó en el interior de un invernadero de 40 x 10 m situado en la localidad de Águilas (Murcia). Este invernadero disponía de una doble capa plástica

como cubierta, *cooling-system* y caldera para el control de las condiciones ambientales en su interior (Fig. 2.1).

El invernadero estaba subdividido en 36 jaulas de 4 x 2 x 3,5 m (largo x ancho x alto), 18 a cada lado de un pasillo central y de las cuales se emplearon un total de 12 en el presente trabajo. Las paredes y el techo de las jaulas estaban compuestas de malla anti-trips (tamaño de hueco 220 x 331 μm) y estaban sujetas por medio de perfiles de acero a la estructura del invernadero. Con el fin de mejorar la estanqueidad y el aislamiento térmico de las jaulas, el suelo estaba cubierto por un aislante de polietileno de 2 mm de espesor.

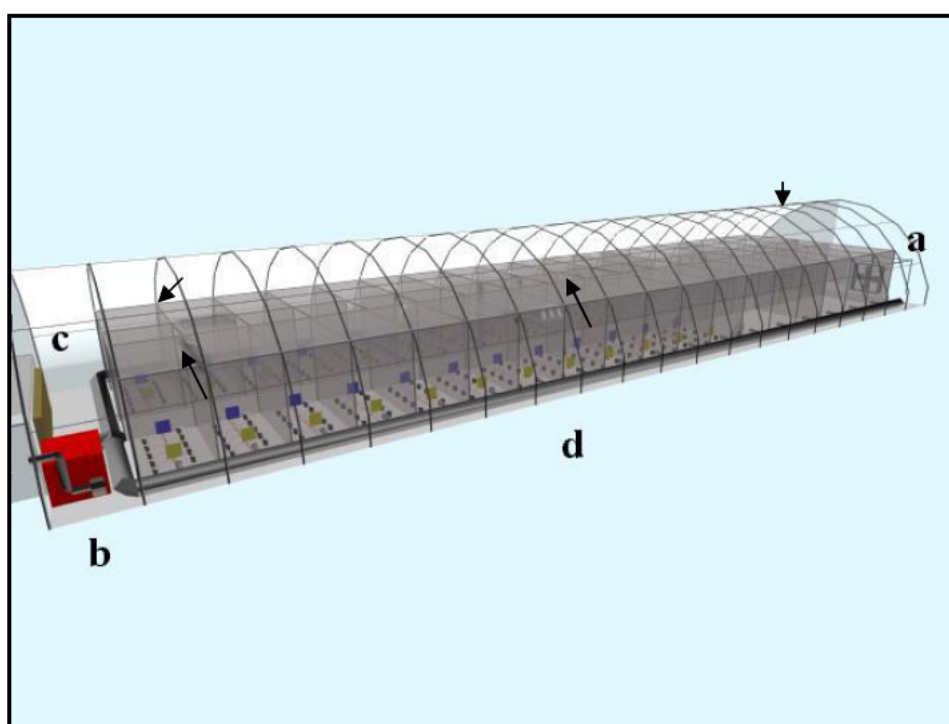


Figura 2.1. Vista general y componentes principales del sistema de control climático del invernadero donde se realizó el experimento: a) ventiladores del *cooling-system*; b) caldera; c) panel del *cooling-system*; d) tubo de distribución de aire de la caldera.

El acceso al invernadero era a través de una doble puerta, la primera de ellas de tipo corredera y de plástico y la segunda, de apertura por cremallera, de malla anti-trips de igual espesor que la de las paredes de las jaulas. Cada una de las jaulas estaba además provista de una puerta, también de apertura por cremallera y que las comunicaba con el pasillo central. En el interior del invernadero se colocaron 4 dispositivos para la toma de datos de temperatura y humedad relativa marca HOBO H8 RH/Temp Loggers (Onset Computer Company, Bourne, MA, USA).

2.2.2. Condiciones ambientales

La temperatura media durante el ensayo osciló entre 23,2 °C y 24,2 °C, habiéndose registrado una temperatura mínima de 19,8 °C y una máxima de 32,1 °C. A su vez, la humedad relativa media osciló entre el 62,7 % y el 58,4 %, mientras el valor máximo y mínimo de este parámetro durante el experimento fue 87,9 % y 34,2 %, respectivamente.



Figura 2.2. Disposición de plantas en el interior de las jaulas de ensayo.

2.2.3. Manejo de cultivo

Para el experimento se emplearon semillas de pimiento (*Capsicum annum* L.) variedad Spiro (Seminis Vegetable Seeds Europe Enkhuizen, Países Bajos) tolerantes a TSWV y que fueron sembradas en bandejas de poliestireno expandido con celdas de 5,4 cm². Posteriormente, el 24 de marzo de 2005 las plantas se trasplantaron en el invernadero de ensayo en macetas de 6,3 L que contenían fibra de coco como sustrato. En cada jaula se dispusieron un total de 10 plantas alineadas en 2 filas de cinco, considerándose una densidad de plantación de 2,5 plantas/m² para el cálculo de las introducciones de *A. swirskii* (Fig. 2.2).

Las prácticas culturales realizadas fueron las típicas para un cultivo de pimiento en invernadero, realizándose un cultivo sin poda y entutorado en espaldera. Para ello se creó una estructura compuesta por cintas de nylon de color negro y perfiles de acero

colocados a cada extremo de la línea de cultivo. Cada maceta se dotó de un emisor de caudal 2 L/h para el suministro hídrico y de nutrientes según necesidad.

2.2.4. Diseño Experimental

Para el experimento se consideró un diseño de bloques completos al azar de 4 repeticiones de 3 tratamientos (Fig. 2.3). Los tratamientos fueron: *B. tabaci*, 25 *A. swirskii*/m² (*B. tabaci* + 25 *A. swirskii*/m²) y 100 *A. swirskii*/m² (*B. tabaci* + 100 *A. swirskii*/m²). Cada repetición de cada tratamiento se realizó en una jaula diferente de las anteriormente descritas.

Bloque 1	<i>B. tabaci</i>	Pasillo Central	<i>B. tabaci</i>	Bloque 3
	100 <i>A. swirskii</i> /m ²		100 <i>A. swirskii</i> /m ²	
	25 <i>A. swirskii</i> /m ²		25 <i>A. swirskii</i> /m ²	
Bloque 2	100 <i>A. swirskii</i> /m ²		25 <i>A. swirskii</i> /m ²	Bloque 4
	25 <i>A. swirskii</i> /m ²		<i>B. tabaci</i>	
	<i>B. tabaci</i>		100 <i>A. swirskii</i> /m ²	

Figura 2.3. Diseño experimental del ensayo. Se observa la distribución al azar de los tratamientos dentro de cada repetición (bloque).

2.2.5. Utilización de mosca blanca y ácaros depredadores

Los adultos de *B. tabaci* procedían de una cría en masa que se inició a partir de una población procedente de la Región de Murcia e identificada por medio de análisis PCR (Polymerase Chain Reaction) como biotipo Q.

Para la preparación de las infestaciones, los adultos de *B. tabaci* fueron introducidos durante unos minutos en una cámara climática regulada a 8°C. Posteriormente fueron contabilizados para introducir en cada jaula un total de 4, 4 y 8 adultos por planta (10, 10 y 20 adultos/m²), respectivamente en tres sueltas realizadas con una frecuencia semanal. La primera de ellas se llevó a cabo justo tras el trasplante (24/03/2005). Dicho esquema de introducción se realizó para simular una infestación típica en condiciones de campo, donde las inmigraciones de los insectos plaga se producen de forma continuada en el tiempo. Todos los adultos empleados para realizar cada una de las infestaciones semanales de todas las jaulas fueron cosechados simultáneamente

de la cría en masa, tenían 24 horas de edad y pertenecían a una misma cohorte, con el fin de garantizar al máximo la homogeneidad en cuanto a proporción de sexos y edad entre las poblaciones introducidas en cada una de las repeticiones de los diferentes tratamientos.

Los *A. swirskii* empleados en el experimento fueron suministrados por Koppert Biological Systems, quien mantiene una cría en masa de esta especie en sus instalaciones en Holanda. Los fitoseidos venían en botes de 1 L que contenían 12500 ácaros mezclados con salvado. Para la preparación de las introducciones se extrajeron del bote 3 muestras de 0,5 g. Posteriormente se contabilizó el número de ácaros presentes en las muestras y se calculó el número de ácaros presentes en 1 g de producto. A partir de este dato se prepararon botes que contenían la cantidad necesaria de material para liberar las cantidades establecidas de 25 ó 100 ácaros/m². El fitoseido fue introducido en una sola liberación el 31/03/2010, una semana después de la primera introducción de *B. tabaci*. El material conteniendo los ácaros fitoseidos fue distribuido de forma homogénea depositándolo directamente sobre todas las plantas de cada jaula. Hasta el momento de realización del presente trabajo no existían datos acerca de la dosis de suelta operativa para *A. swirskii*, disponiéndose tan solo de datos previos comparando a *A. swirskii* con otros fitoseidos ya utilizados comercialmente (van Houten *et al.* 2005). En base a dichos datos y como una aproximación previa se eligieron las dosis aquí comparadas.

2.2.6. Muestreo

Se realizaron un total de nueve recuentos con un intervalo semanal durante el experimento, iniciándose una semana después de la primera introducción de *B. tabaci* y previamente a la introducción de *A. swirskii* (31/3/2005). En cada uno de los muestreos se seleccionaron tres hojas de cada una de las 5 plantas seleccionadas al azar en cada jaula. En cada una de las plantas una hoja pertenecía a su estrato superior, otra al medio y la otra al inferior. En todas ellas se contabilizaron el número de inmaduros y adultos de *B. tabaci* y el número de formas móviles de *A. swirskii*. Además, en cada una de las plantas seleccionadas se anotó el número de formas móviles de *A. swirskii* presentes en dos flores seleccionadas al azar. Los muestreos se realizaron *in situ* en el invernadero de ensayo y empleando una lupa de campo de 15X. A la hora de tomar los datos, las hojas eran volteadas cuidadosamente y en primer lugar se contabilizaban el número de adultos de *B. tabaci*, para posteriormente contabilizar el resto de estadios de mosca blanca y los fitoseidos.

2.2.7. Análisis estadístico

A partir de los datos obtenidos a lo largo de los diferentes muestreos se calcularon el número de ninfas más pupas y adultos de *B. tabaci* y número de ácaros fitoseidos acumulados días para cada jaula, planta y estrato como índice del crecimiento de la población de cada uno de estos organismos a lo largo del experimento (Carey 1993; Ruppel 1983). Este método ha sido ya empleado en otros trabajos que han utilizado un diseño similar (Calvo *et al.* 2009; Stansly *et al.* 2005b; Sánchez y Lacasa 2008). Dichos datos fueron posteriormente analizados mediante un test ANOVA junto con un test de Tukey ($P < 0,05$) para la determinación de posibles diferencias entre los tratamientos comparados. En dichos análisis no se consideró el efecto debido al submuestreo por ser no significativo ($P < 0,05$). Previo a la realización de estos análisis y en aquellos casos en que fue necesario para mantener los supuestos del análisis de varianza, los datos fueron transformados empleando la expresión $\log(x+1)$. Sin embargo, tanto en las tablas como en las figuras se muestran los valores no transformados. También se calculó el porcentaje de reducción de la población de mosca blanca en cada uno de los tratamientos con introducción del depredador respecto del tratamiento control mediante la ecuación $100 \times (1 - (\text{Tratado} / \text{Control}))$, como un índice de la eficacia de cada uno de los tratamientos (Abbott 1925).

2.3. Resultados

2.3.1. Mosca blanca

El crecimiento de la población de *B. tabaci* fue diferente en los tratamientos con introducción de *A. swirskii* con respecto al tratamiento con mosca blanca únicamente, registrándose en este último una población significativamente superior a la de los primeros ($F = 14,943$; g.l. = 2, 174; $P < 0,001$; Tabla 2.1). Además, en el tratamiento donde únicamente se liberó el fitófago el número de adultos por hoja creció de forma continuada a lo largo del experimento (Fig. 2.4 a). Por el contrario, en los tratamientos donde se liberaron 25 y 100 *A. swirskii*/m², en los que no se produjo dicho crecimiento continuado, la densidad de adultos de mosca blanca fue, respectivamente, al final del experimento 51 y 77 veces inferior con respecto al tratamiento sin liberación del fitoseido. Así pues, el porcentaje de reducción de la población de adultos de mosca blanca en los tratamientos donde se liberaron 25 y 100 *A. swirskii*/m² respecto del tratamiento control fue del 98,1 y 98,7%, respectivamente.

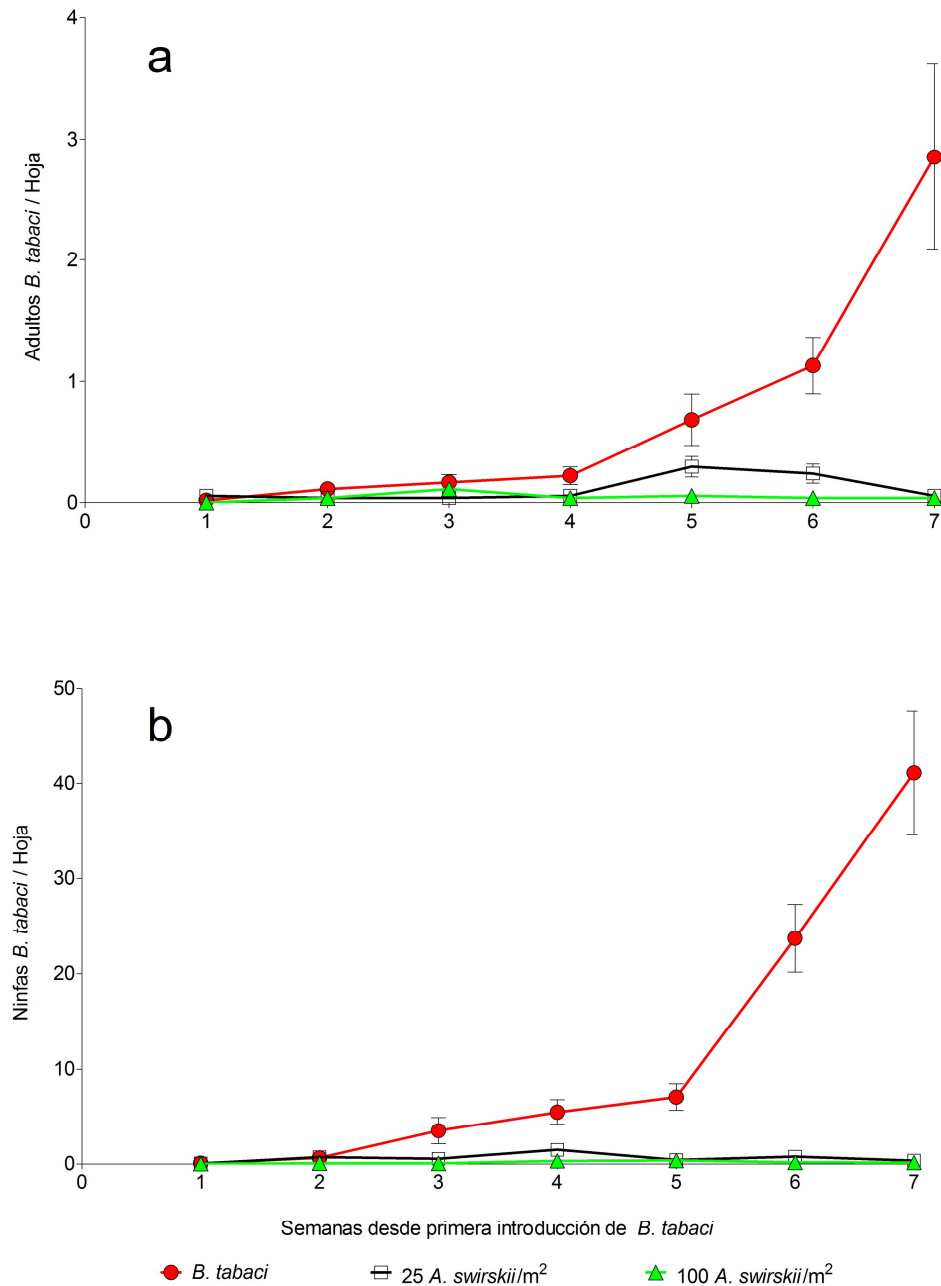


Figura 2.4. Número (Media \pm Error estándar) de adultos (a) y ninfas más pupas (b) de *Bemisia tabaci* por hoja y por semana en cada uno de los tratamientos a lo largo del experimento. La primera introducción de *B. tabaci* se realizó una semana antes del primer muestreo (semana 0) y *Amblyseius swirskii* se liberó justo después del primer muestreo en la semana 1.

Resultados muy similares se obtuvieron sobre ninfas de mosca blanca (Fig. 2.4 b). El número de inmaduros de *B. tabaci* fue significativamente superior en el tratamiento donde únicamente se liberó el fitófago que en los tratamientos con introducción del depredador, entre los que no hubieron diferencias ($F= 50,485$; g.l.= 2, 174; $P<0,001$;

Tabla 2.1). También en este caso el número de ninfas más pupas de *B. tabaci* creció de forma continuada a lo largo del experimento en las jaulas del tratamiento *B. tabaci*, encontrándose en la última semana del experimento una densidad más de 100 veces superior a la registrada en los tratamientos con introducción del fitoseido, en los que la densidad de ninfas más pupas de mosca blanca no creció a lo largo del experimento. De este modo, la reducción de la población de ninfas más pupas por hoja en los tratamientos donde se liberaron 25 *A. swirskii*/m² y 100 *A. swirskii*/m² con respecto al tratamiento donde solo se liberó *B. tabaci* fue del 99,1 y 99,6 %, respectivamente.

Tabla 2.1. Número de ninfas más pupas y adultos de *Bemisia tabaci* por hoja y número de *Amblyseius swirskii* (formas móviles) por hoja y flor acumulado días para cada uno de los tratamientos a lo largo del experimento.

Tratamiento	<i>Bemisia tabaci</i>		<i>Amblyseius swirskii</i>	
	Adultos (Media ± Es)	Ninfas + Pupas (Media ± Es)	Formas móviles (Hoja) (Media ± Es)	Formas móviles (Flor) (Media ± Es)
<i>B. tabaci</i>	26,3 ± 4,50 a	427,7 ± 52,01 a	-----	-----
25 <i>A. swirskii</i> /m ²	5,1 ± 1,00 b	29,3 ± 6,10 b	38,9 ± 4,34 a	12,6 ± 3,37 a
100 <i>A. swirskii</i> /m ²	2,1 ± 0,68 b	7,8 ± 1,18 b	42,2 ± 3,28 a	20,6 ± 4,02 a

Medias en una misma columna seguida por una misma letra implica la inexistencia de diferencias estadísticamente significativas (Tukey, P<0,05).

2.3.2. *Amblyseius swirskii*

Tras su introducción, la densidad poblacional en hoja del ácaro depredador se incrementó de forma constante en los dos tratamientos donde fue introducido (Fig. 2.5 a), alcanzando finalmente un número superior a dos ácaros por hoja. Además, este valor fue muy semejante a lo largo del experimento entre estos dos tratamientos, sin que finalmente aparecieran diferencias significativas entre ellos en el número de ácaros por hoja acumulados días ($F = 2,700$; g.l. = 1, 115; $P = 0,103$; Tabla 2.1).

Al igual que en el caso de las hojas, la evolución de la población del fitoseido en flor fue muy semejante en los dos tratamientos donde se introdujo (Fig. 2.5 b), no existiendo diferencias entre ellos ($F = 3,440$; g.l. = 1, 75; $P = 0,069$; Tabla 2.1). La evolución del número de fitoseidos por flor mostró dos picos en ambos tratamientos,

uno inmediatamente después de su introducción y el otro en la parte final del experimento, siendo en ambos casos el segundo el más elevado.

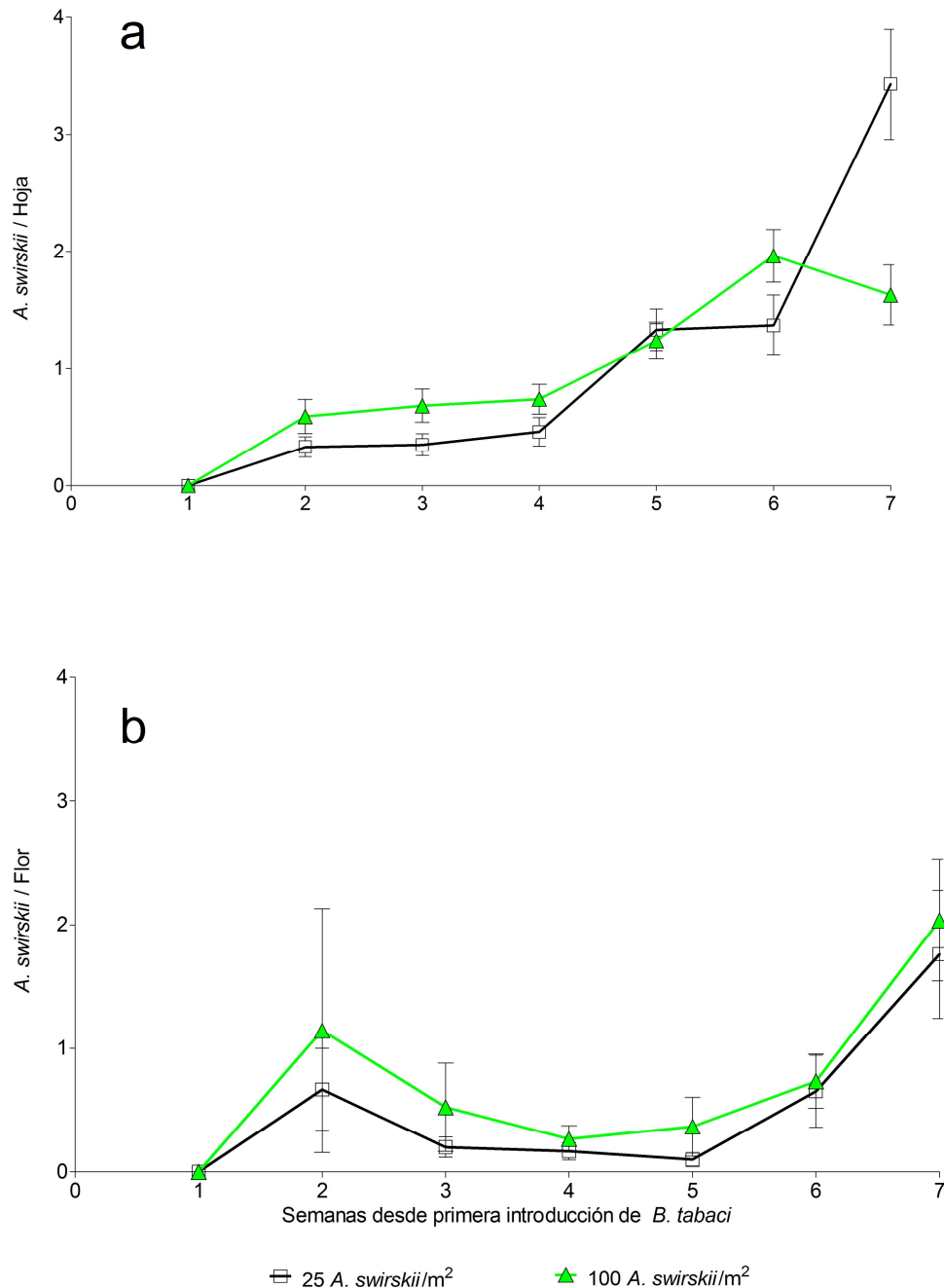


Figura 2.5. Número (Media \pm Error estándar) de *Amblyseius swirskii* por hoja (a) y por flor (b) por semana en cada uno de los tratamientos a lo largo del experimento. La primera introducción de *Bemisia tabaci* se realizó una semana antes del primer muestreo (semana 0) y *A. swirskii* se liberó justo después del primer muestreo en la semana 1.

2.4. Discusión

Tanto en hojas como en flores se observó un rápido incremento de la población de *A. swirskii* en los dos tratamientos donde fue liberado, no existiendo ningún efecto significativo de la dosis de suelta sobre el establecimiento. De este modo, parece demostrarse que *A. swirskii* es capaz de establecerse en pimiento alimentándose de una dieta de mosca blanca y polen, corroborándose estudios previos en los que se ha puesto de manifiesto la capacidad de *A. swirskii* para desarrollarse a partir de estas fuentes de alimento (Swirski *et al.* 1967; Ragusa y Swirski 1975; Nomikou *et al.* 2002, 2003). El polen es abundante en pimiento desde las primeras fases del ciclo de cultivo, lo que faculta a este fitoseido para establecerse de forma preventiva y a mantenerse en el cultivo con baja disponibilidad de presa, fenómeno que ha podido ser observado en la parte final del experimento, momento en el que la densidad poblacional de la mosca blanca era muy baja y se registró un importante incremento del número de fitoseidos por flor. *Amblyseius swirskii* cuenta con otra serie de especies presa que son plaga del pimiento como *F. occidentalis*, *T. urticae* y *P. latus* (Swirski *et al.* 1967; Hoda *et al.* 1986; El-Laithy y Fouly 1992; Momen y El-Saway 1993; van Houten *et al.* 2005; Messelink *et al.* 2006; Stansly y Castillo, 2009), lo que incrementa aún más sus posibilidades de supervivencia en el cultivo en condiciones de ausencia de la plaga objetivo.

El número de inmaduros y adultos de mosca blanca fue significativamente inferior como respuesta a la introducción de *A. swirskii*, registrándose una reducción cercana al 100% con respecto al tratamiento control con ambas dosis de suelta. Estos resultados ponen de manifiesto la alta eficacia de *A. swirskii* frente a mosca blanca y concuerdan con los resultados previos obtenidos por Nomikou *et al.* (2001, 2002), quienes observaron como el fitoseido fue capaz de reducir de forma significativa una población de mosca blanca sobre pepino. Stansly *et al.* (2005b) en un estudio previo también realizado en condiciones de semicampo y en pimiento y en el cual se introdujeron un total de 6 adultos de *B. tabaci* (8 adultos/planta en el presente experimento), consiguieron una reducción del 93% de la población respecto de un tratamiento control realizando 6 introducciones con una frecuencia semanal de 1,5 adultos de *E. mundus* por metro cuadrado. Posteriormente, fruto de varios ensayos que demostraron también la eficacia de este parasitoide frente a *B. tabaci* en condiciones de campo (Téllez *et al.* 2003; Stansly *et al.* 2005b), *E. mundus* se convirtió en la base del control biológico de *B. tabaci* (Urbaneja *et al.* 2003). Así pues, a falta de ensayos posteriores en condiciones de campo, los resultados aquí obtenidos ponen de manifiesto las posibilidades que *A. swirskii* puede ofrecer para el control de mosca

blanca. Una estrategia interesante a emplear podría ser una combinación entre *A. swirskii* y *E. mundus*. Por un lado, *A. swirskii* depreda fundamentalmente huevos y ninfas N1 de *B. tabaci* (Nomikou *et al.* 2001, 2004), mientras *E. mundus* parasita todos los estadios, salvo el de pupa, pero principalmente ninfas N2-N3 (Foltyn y Gerling 1985; Urbaneja y Stansly 2004). De este modo, el control de la mosca blanca podría verse mejorado por el efecto complementario de ambos enemigos naturales sobre la plaga (Straub *et al.* 2008). Otra ventaja interesante de una estrategia incluyendo *A. swirskii* con respecto a una basada únicamente en la liberación de *E. mundus*, es que el depredador puede introducirse de forma preventiva, mientras que *E. mundus* precisa de la presencia de la plaga para establecerse. De este modo, se incrementan aún más las posibilidades de éxito frente a la plaga.

Los resultados obtenidos muestran que ambas dosis de suelta fueron igualmente eficaces para el control de mosca blanca. Crowder (2007) en una revisión sobre estudios en los que se compararon diferentes dosis de suelta de varios agentes de control biológico concluyó que el efecto de este factor sobre la eficacia de un determinado enemigo natural podría resultar nula por diversos motivos. Entre las causas para ello apuntó diversos factores como la disponibilidad de presa, ratio inicial presa-enemigo natural, fecundidad, capacidad de dispersión, factores ecológicos, el método de introducción y las aplicaciones de insecticidas. De entre ellas, las que podrían explicar los resultados aquí obtenidos serían la disponibilidad de presa y el ratio inicial depredador-presa. Cuando se incrementa la dosis de suelta, el número de presas disponibles por enemigo natural disminuye. De este modo, si empleando la dosis de suelta inferior existen suficientes individuos para explotar al máximo los recursos disponibles, incrementar la dosis de suelta resulta indiferente (Duso *et al.* 1991; Petersen y Cawthra 1995; Bellows Jr. *et al.* 2007; Alomar *et al.* 2007). Así pues, parece ser que la infestación inicial de mosca blanca aquí provocada pudo ser baja como para poder observar un efecto significativo de la dosis de suelta sobre la eficacia de *A. swirskii*.

Por otro lado, van Houten *et al.* (2005) y Messelink *et al.* (2006) determinaron que *A. swirskii* tiene una tasa de desarrollo muy superior que *N. cucumeris*, fitoseido introducido en invernaderos comerciales de pimiento para el control de trips, alimentándose de *F. occidentalis*, a la vez que es capaz de depredar de forma más eficaz a este fitófago. Así pues, si unimos el hecho que *A. swirskii* se desarrolla mejor que este sobre *F. occidentalis*, que ejerce un mejor control y que además es capaz de controlar de forma eficaz a *B. tabaci*, sería pues más interesante *a priori* introducir *A.*

swirskii que *N. cucumeris*. Además, con ello se conseguiría reducir el número de especies introducidas en el cultivo, lo que haría la estrategia de control más simple técnicamente y más viable económicamente.

Los resultados aquí obtenidos son pues una indicación del elevado potencial que *A. swirskii* puede tener como agente de control biológico de *B. tabaci* en pimiento, mostrando su capacidad para establecerse en el cultivo a expensas de la plaga objetivo y de ejercer un control eficaz de la misma bajo los supuestos del experimento. Sin embargo, es necesaria la realización de nuevos experimentos en los que se ponga de manifiesto la contribución real que la inclusión de *A. swirskii* puede ofrecer con respecto a la estrategia de control de mosca blanca basada únicamente en el uso de *E. mundus*, así como de estudios directamente en invernaderos comerciales que vengán a corroborar los resultados aquí obtenidos en dichas condiciones.

2.5. Bibliografía

- Abbott, W.A., 1925. A method to computing the effectiveness of an insecticide. *Journal of Economic Entomology* 18. 265-267.
- Alomar, O., Riudavets, J., Castañé, C., 2007. *Macrolophus caliginosus* in the biological control of *Bemisia tabaci* on greenhouse melons. *Biological Control* 36. 154-162.
- Bellows, T.S. Jr., Paine, T.D., Bezark, L.G., Ball, J., 2007. Optimizing natural enemy release rates, and associated pest population decline rates, for *Encarsia inaron* Walker (Hymenoptera: Aphelinidae) and *Siphoninus phillyreae* (Haliday) (Homoptera: Aleyrodidae). *Biological Control* 37. 25-31.
- Calvo, J., Bolckmans, K., Stansly, P.A., Urbaneja, A., 2009. Predation by *Nesidiocoris tenuis* on *Bemisia tabaci* and injury to tomato. *Biocontrol* 54(2). 237-246.
- Carey, J.R., 1993. Applied demography for biologists with special emphasis on Insects. Oxford University Press. Oxford. 141-145.
- Collier, T., van Steenwyk, R., 2004. A critical evaluation of augmentative biological control. *Biological Control* 31. 245-256.
- Crowder, D.W., 2007. Impact of release rates on the effectiveness of augmentative biological control agents. *Journal of Insect Science* 7(15). 1-11.
- DeBach, P., 1964. Biological control of insect pests and weeds. Chapman & Hall. New York, USA. 844 pp.
- DeBach, P., Rosen, D., 1991. Biological control by natural enemies. Cambridge University Press. Cambridge, U.K. 440 pp.
- Duso, C., Pasqualetto, C., Camporese, P., 1991. Role of the predatory mites *Amblyseius aberrans* (Oud.), *Thphlodromus pyri* Scheuten and *Amblyseius andersoni* (Chant) (Acari, Phytoseiidae) in vineyards. *Journal of Applied Entomology* 112. 298-308.
- El-Laithy, Fouly, A.H., 1992. Life table parameters of two phytoseiid predators *Amblyseius scutalis* (Athias-Henriot) and *A. swirskii* Athias . Henriot. *Egyptian Journal of Applied Entomology* 113. 8. 12.

- Foltyn, S., Gerling, D., 1985. The parasitoids of the aleyrodid *Bemisia tabaci* in Israel: development, host preference and discrimination of the aphelinid wasp *Eretmocerus mundus*. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 38. 255-260.
- Gerling, D., Alomar, O., Arnó, J., 2001. Biological control of *Bemisia tabaci* using predators and parasitoids. *Crop Protection* 20. 779-799.
- Gotoh, T., Nozawa, M., Yamaguchi, K., 2004. Prey consumption and functional response of three acarophagous species to eggs of the two-spotted spider mite in the laboratory. *Applied Entomology and Zoology* 39. 97-105.
- Heinz, K.M., van Driesche, R.G., Parella, M.P., 2004. Biocontrol in protected culture. Ball Publishing. Batavias, Illinois. 552 pp.
- Hoda, F.M., El-Naggar, M.E., Taha, A.H., Ibrahim, G.A., 1986. Effect of different types of food on fecundity of predaceous mite *Amblyseius swirskii* Athias-Henriot (Acari: Phytoseiidae). *Bulletin de la Société d'Entomologie d'Egypte* 66, 113-116.
- Huffaker, C.B., Messenger, P.S., 1976. Theory and practice of biological control. Academic Press. London, UK. 788 pp.
- Lacasa, A., Contreras, J., 1993. Comportamiento de *Frankliniella occidentalis* en la transmisión del virus del bronceado del tomate: planteamientos para su control. *Phytoma España* 50. 33-39.
- Lacasa, A., Sánchez, J.A., 2002. El estado actual del control integrado de los tisan  pteros en cultivos de invernadero. La situación del pimiento. *Phytoma-España* 135. 101-105.
- Lacasa, A., Torres, J., Martínez, M.C., 1991. La implicación de *Frankliniella occidentalis* en la diseminación del virus del bronceado del tomate (TSWV) en los cultivos Murcianos. *Agrícola Vergel* 122. 203 . 209.
- Lara, L., van der Blom, J., Urbaneja, A., 2002. Instalación, distribución y eficacia de *Orius laevigatus* (Reuter) (Hemiptera: Anthocoridae), en invernaderos de pimiento en Almería. *Boletín de Sanidad Vegetal Plagas* 28. 251-261.

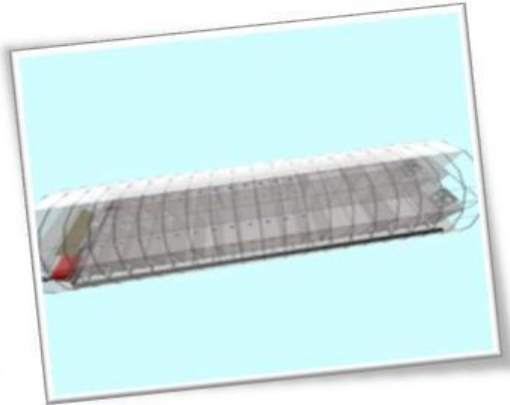
- Messelink, G.J., van Steenpaal, S.E.F., Ramakers, P.M.J., 2006. Evaluation of phytoseiid predators for control of western flower thrips on greenhouse cucumber. *Biocontrol* 51. 753-768.
- Messelink, G.J., van Maanen, R., van Steenpaal, S.E.F., Janssen, A., 2008. Biological control of thrips and whiteflies by a shared predator: Two pests are better than one. *Biological Control* 44. 372-379.
- MARM, 2007. Anuario de Estadística Agroalimentaria 2007. Ministerio de Medio Ambiente Medio Rural y Marino. www.mapa.es/es/estadistica/pags/anuario/2007/indice.asp. Consulta Abril 2009.
- Overmeer, W.P.J., 1985. Rearing and Handling. En: *World crop pests, vol. 1B. Spider mites: their biology, natural enemies and control*. Editado por Helle, W., Sabelis M.W. Elsevier. Amsterdam, The Netherlands. 161-169.
- Momen, F.M., El-Saway, S.A., 1993. Biology and feeding behaviour of the predatory mite *Amblyseius swirskii* (Acari: phytoseiidae). *Acarologia* 34(3). 199-204.
- Nomikou, M., Janssen, A., Schraag, R., Sabelis, M.W., 2001. Phytoseiid predators as potential biological control agents for *Bemisia tabaci*. *Experimental and Applied Acarology* 25. 271-291.
- Nomikou, M., Janssen, A., Schraag, R., Sabelis, M.W., 2002. Phytoseiid predators suppress population of *Bemisia tabaci* in the presence of alternative food. *Experimental and Applied Acarology* 27. 57-68.
- Nomikou, M., Janssen, A., Schraag, R., Sabelis, M.W., 2003. Phytoseiid predators of whiteflies feed and reproduce on non-prey food sources. *Experimental and Applied Acarology* 31. 15-26.
- Nomikou, M., Janssen, A., Schraag, R., Sabelis, M.W., 2004. Vulnerability of *Bemisia tabaci* immatures to phytoseiid predators: Consequences for oviposition and influence of alternative food. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 110. 95-102.
- Petersen, J.J., Cawthra, J.K., 1995. Release of a gregarious *Muscidifurax* species (Hymenoptera: Pteromalidae) for the control of filth flies associated with confined beef cattle. *Biological Control* 5. 279-284.

- Ragusa, S., Swirski, E., 1975. Feeding habits, development and oviposition of the predacious mite *Amblyseius swirskii* Athias-Henriot (Acarina: Phytoseiidae) on pollen of various weeds. Israel Journal of Entomology 10. 93-103.
- Ruppel, R.F., 1983. Cumulative insect-days as an index of crop protection. Journal of Economic Entomology 76. 375-377.
- Sánchez, J.A., Lacasa, A., 2008. Impact of the Zoophytophagous Plant Bug *Nesidiocoris tenuis* (Heteroptera: Miridae) on tomato yield. Journal of Economic Entomology 101(6). 1864-1870.
- Sánchez, J.A., Contreras, J., Lacasa, A., Lorca, M., 1995. Datos preliminares sobre la utilización de *Orius laevigatus* (Fieber) en el control de *Frankliniella occidentalis* (Pergande) en pimiento en invernadero. Phytoma-España 65. 32-38.
- Stansly, P.A., Castillo, J., 2009. Control of Broad Mite, *Polyphagotarsonemus latus* and the Whitefly *Bemisia tabaci* in Open Field Pepper and Eggplant with Predaceous Mites. IOBC/wprs Bulletin 49. 203-206.
- Stansly, P.A., Calvo, F.J., Urbaneja, A., 2005a. Augmentative biological control of *Bemisia tabaci* biotype Q^+ in Spanish greenhouse pepper production using *Eretmocerus* spp. Crop Protection 24. 829-835.
- Stansly, P.A., Calvo, J., Urbaneja, A., 2005b. Release rates for control of *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae) biotype Q^+ with *Eretmocerus mundus* (Hymenoptera: Aphelinidae) in greenhouse tomato and pepper. Biological Control 35. 124-133.
- Stiling, P., Cornelissen, T., 2005. What makes a successful biological control agent? A meta-analysis of biological control agent performance. Biological Control 34. 236-246.
- Straub, C.S., Finke, D.L., Snyder, W.E., 2008. Are the conservation of natural enemy biodiversity and biological control compatible goals? Biological Control 45. 225-237.
- Swirski, E., Amitai, S., 1997. Annotated list of phytoseiid mites (Mesogigmata: Phytoseiidae) in Israel. Israel Journal of Entomology 31. 21-46.

- Swirski, E., Amitai, S., Dorzia, N., 1967. Laboratory studies on the feeding, development and reproduction of the predaceous mites *Amblyseius rubini* Swirskii and Amitai and *Amblyseius swirskii* Athias-Henriot (Acarina: Phytoseiidae) on various kinds of food substances. Israel Journal of Agricultural Research 17(2). 101-118.
- Teich, Y., 1966. Mites of the family phytoseiidae as predators of the tobacco whitefly, *Bemisia tabaci* Gennadius. Israel Journal of Agricultural Research 16(3). 141-142.
- Téllez, M.M., Lara, L., Stansly, P.A., Urbaneja, A., 2003. *Eretmocerus mundus* (Hym.; Aphelinidae), parasitoide autóctono de *Bemisia tabaci* (Hom.: Aleyrodidae): primeros resultados de eficacia en judía. Boletín de Sanidad Vegetal Plagas 29. 511. 521.
- Urbaneja, A., Stansly, P.A., 2004. Host suitability of different instars of the whitefly *Bemisia tabaci* biotype Q+ for *Eretmocerus mundus*. Biocontrol 49. 153-161.
- Urbaneja, A., Stansly, P.A., Calvo, J., Beltrán, D., Lara, L., van der Blom, J., 2003. *Eretmocerus mundus*: control biológico de *Bemisia tabaci*. Phytoma España 144. 139-142.
- Van der Blom, J., 2008. Pimiento bajo abrigo. En: Control Biológico de Plagas agrícolas. Ed. Jacas JA, Urbaneja A. Phytoma España. Valencia (España). 496 pp.
- Van Driesche, R.D., Bellows, T.S., 1996. Biological Control. Chapman & Hall, New York, USA. 539 pp.
- Van Houten, Y.M., Ostlie, M.L., Hoogerbrugge, H., Bolckmans, K., 2005. Biological control of western flower thrips on sweet pepper using the predatory mites *Amblyseius cucumeris*, *Iphiseius degenerans*, *A. andersoni* and *A. swirskii*. IOBC/wprs Bulletin 28(1). 283-286.
- Van Lenteren, J.C., 2002. Success in Biological Control of Arthropods by Augmentation of Natural enemies. En *Biological Control: Measures of Success*. Editado por Guff, G., Wratten, S.D. Springer Press. Berlin, Germany. 77-104.
- Van Lenteren, J., C., 2003. Quality Control and Production of Biological Control Agents: Theory and Testing Procedures. CABI Publishing. Wallingford, UK. 327 pp.

Capítulo 3

Mejora en condiciones de semicampo de la estrategia de control biológico de *Bemisia tabaci* Gennadius (Hemiptera: Aleyrodidae) de pimiento



3.1. Introducción

La mosca blanca *Bemisia tabaci* Gennadius (Hemiptera: Aleyrodidae) es una plaga clave en pimiento que puede causar graves pérdidas económicas debido a la intensidad que pueden alcanzar sus daños.

Tradicionalmente esta plaga se ha controlado mediante el empleo de agentes de control químicos. Sin embargo, en los últimos años el número de formulados disponibles se está reduciendo debido al desarrollo de resistencias por parte de la plaga (Cahill *et al.* 1996a, 1996b; Elbert y Nauen 2000; Palumbo *et al.* 2001; Horowitz *et al.* 2002; Nauen y Denholm 2005; Fernández *et al.* 2009), las prohibiciones por parte de los gobiernos y entes públicos (MARM 2009; Anexo 1 de la Directiva Comunitaria 91/414/CEE(222)) y las restricciones por parte de los mercados de destino a la presencia de residuos químico en los frutos. El uso incorrecto de los agentes de control químico favorece la aparición de resistencias, lo que hace que estos pierdan parcial o totalmente su eficacia. Sin embargo, las estrategias de control integrado, que se emplean desde hace tiempo en todo el mundo (Heinz *et al.* 2004), pueden ayudar a reducir el número de aplicaciones de insecticidas necesarias. Esto se debe a que en estas estrategias se combinan organismos de control biológico, plaguicidas y otras técnicas de control. De este modo, el riesgo de generación de resistencias por parte de la plaga se reduce a la vez que al agricultor se le ofrecen más herramientas para controlar las diferentes plagas. También, el control de determinadas plagas ha sido posible en algunos casos mediante el uso exclusivo de agentes de control biológico (DeBach 1964; Huffaker y Messenger 1976; DeBach y Rosen 1991; van Driesche y Bellows 1996; van Lenteren 2002; Collier y van Steenwyk 2004; Stiling y Cornelissen 2005). En estos casos la estrategia de control resulta más salubre para el medio ambiente, el conjunto de enemigos naturales presentes en el agrosistema, los productores y los consumidores.

Para el control biológico de mosca blanca en los invernaderos de pimiento se recomendaba hace unos años introducciones de tipo aumentativas de las avispas parásitas *Encarsia formosa* Gahan y *Eretmocerus eremicus* Rose & Zolnerowich (Hymenoptera: Aphelinidae) (Monserrat *et al.* 1998). Sin embargo, estos tenían que complementarse frecuentemente con plaguicidas como jabones, aceites o reguladores de crecimiento (van Driesche 2000). Posteriormente, se demostró que el parasitoide *Eretmocerus mundus* Mercet era más apto para el control biológico de *B. tabaci* en invernaderos de pimiento que las especies antes mencionadas (Stansly *et al.* 2005a),

motivo por el que las sustituyó dentro de los planes de manejo integrado como base del control de esta plaga (Urbaneja *et al.* 2003). La inclusión de *E. mundus* en la estrategia de control propició una reducción importante del número de aplicaciones de insecticidas necesarios para mantener bajo control al fitófago. Sin embargo, en zonas productoras como Almería, donde se registran inmigraciones muy fuertes de la plaga en los invernaderos, la aplicación de formulados químicos en combinación con los parasitoides seguían siendo aún necesarias con una frecuencia muy alta. Esto afectaba al establecimiento del conjunto de enemigos naturales y a su eficacia. Un incremento de la eficacia de esta estrategia basada en *E. mundus*, podría reducir de forma significativa la dependencia por los agentes de control químico e incrementar las posibilidades de éxito de las estrategias de control biológico.

Una posible solución para ello podría ser la combinación de *E. mundus* con otro agente de control biológico. Existe una larga lista de enemigos naturales conocidos de *B. tabaci* (Gerling *et al.* 2001), sin embargo, tan solo unas pocas de estas especies son criadas en masa y por tanto disponibles para su uso en cultivos comerciales.

Una de las posibilidades ya barajadas por técnicos y productores ha sido el empleo del chinche depredador *Nesidiocoris tenuis* Reuter (Heteroptera: Miridae) como complemento de *E. mundus* (van der Blom 2008). Este mírido ha sido descrito como depredador de mosca blanca y se encuentra ampliamente distribuido por la geografía española (Goula 1985; Calvo y Urbaneja 2004; Sánchez y Lacasa 2008; Calvo *et al.* 2009). Además, es capaz de establecerse en pimiento y es criado en masa desde 2002 (Calvo y Urbaneja 2004; Urbaneja *et al.* 2005). Sin embargo, en la práctica esta combinación no ha dado resultados del todo óptimos. Este depredador tiene un tiempo de desarrollo relativamente largo (Sánchez *et al.* 2009), lo que hace que su establecimiento en el cultivo sea lento.

Otra posibilidad frente a *B. tabaci* es el ácaro depredador *Amblyseius swirskii* Athias-Henriot (Acari: Phytoseiidae). Estudios recientes han mostrado que se trata de un enemigo natural muy eficaz de esta plaga en condiciones de laboratorio (Nomikou *et al.* 2001, 2002; Messelink *et al.* 2008) e incluso en pimiento en condiciones de semicampo (Belda y Calvo 2006).

La introducción de un nuevo enemigo natural dentro de la estrategia de control puede resultar positiva, neutra e incluso negativa en función del tipo de interacción que se establezca entre las diferentes especies utilizadas (Straub *et al.* 2008). Dichas

interacciones mejoran el control biológico cuando son de complementariedad, no tienen ningún efecto cuando el tipo de relación establecida es de redundancia funcional y son negativas cuando se produce una situación de depredación intra-gremial. Así pues, la presencia de interacciones entre los agentes de control biológico introducidos, así como la naturaleza de las mismas, debería conocerse antes de su empleo en cultivos comerciales. El conocimiento de dichas interacciones también permitiría determinar la mejor combinación posible desde un punto de vista económico y técnico. Una estrategia que emplee un número menor de especies resulta más simple técnicamente y más viable económicamente.

Por otro lado, una segunda vía para mejorar la eficacia frente a la plaga sería la aplicación de plaguicidas antes de la introducción de los enemigos naturales. Su aplicación, siempre y cuando resulte inocua para los enemigos naturales introducidos, bien *per se* o por respetarse un periodo mínimo de seguridad desde su aplicación hasta la liberación de los enemigos naturales, podrían reducir la densidad poblacional de la plaga en el momento de la liberación de los enemigos naturales, aumentando así sus posibilidades de éxito.

El objetivo del presente estudio fue evaluar dos nuevas vías para mejorar la estrategia de control biológico de *B. tabaci* basada en el empleo únicamente de *E. mundus* y en algunos casos en la combinación de este con *N. tenuis*. Dichas vías serían la incorporación de *A. swirskii* y la utilización de plaguicidas antes del inicio de las introducciones. Para este objetivo se realizaron dos experimentos. En el primero de ellos (Selección) se evaluaron diferentes combinaciones de estos enemigos naturales para determinar la más eficaz. En el segundo experimento (Mejora) se estudió el efecto sobre esta estrategia seleccionada en el primer experimento de la aplicación de plaguicidas antes de la liberación de los agentes de control biológico.

3.2. Material y métodos

3.2.1. Invernadero de ensayo

El experimento se realizó en el interior de un invernadero de 40 x 10 m situado en la localidad de Águilas (Murcia). Este invernadero disponía de doble capa plástica como cubierta, *cooling-system* y caldera para el control de las condiciones ambientales en su interior (Fig. 2.1). Interiormente el invernadero estaba subdividido en 36 jaulas de 4 x 2 x 3,5 m (largo x ancho x alto), estando 18 a cada lado de un pasillo central (Fig. 3.1) y

de las cuales se emplearon un total de 16 durante el primer experimento (Selección) y 12 durante el segundo (Mejora).



Figura 3.1. Vista del pasillo central del invernadero de ensayo. A sus lados se disponían las jaulas empleadas en los experimentos.

Las paredes y techo de las jaulas estaban construidas con malla anti-trips (tamaño de hueco 220 x 331 m) y estaban sujetos por medio de perfiles de acero a la estructura del invernadero. Con el fin de mejorar la estanqueidad y el aislamiento térmico de las jaulas el suelo estaba cubierto por un aislante de polietileno de 2 mm de espesor. El acceso al invernadero era a través de una doble puerta, la primera de ellas de plástico y la segunda de malla anti-trips de iguales características que la empleada para las paredes de las jaulas. Cada una de las jaulas contaba con una tercera puerta de apertura por cremallera y que las comunicaba con el pasillo central. En el interior del invernadero se colocaron 4 dispositivos para la toma de datos de temperatura y humedad relativa modelo HOBO H8 RH/Temp Loggers (Onset Computer Company, Bourne, MA, USA).

3.2.2. Condiciones ambientales

La temperatura media semanal durante el ensayo de selección osciló entre 25,5 °C y 30,2 °C, habiéndose registrado una temperatura mínima de 21,3 °C y una máxima de 36,5 °C. Por su parte, en el experimento de mejora la temperatura media semanal estuvo comprendida entre 24,6 y 33,1 °C. Durante este experimento la mínima

temperatura registrada fue 21,6 °C y la máxima 37,3 °C. La humedad relativa media semanal registró valores entre el 47,0 y el 64,7% y entre el 42,4 y el 63,2% durante el experimento de selección y mejora, respectivamente. Por otro lado, el valor mínimo registrado durante estos experimentos fue, respectivamente, 28,9 y 30,2%.

3.2.3. Manejo del cultivo

En ambos experimentos se utilizaron plantas de pimiento (*Capsicum annum* L.) variedad Spiro (Seminis Vegetable Seeds Europe Enkhuizen, Países Bajos) tolerantes a TSWV.



Figura 3.2. Detalle de una planta de pimiento y de las macetas de 6,3 L en las que fueron trasplantadas.

La siembra se realizó en bandejas de poliestireno expandido con celdas de 5,4 cm². Las fechas de trasplante fueron el 25 de mayo y el 21 de julio para el ensayo de selección y el de mejora, respectivamente. El trasplante se realizó directamente en el invernadero de ensayo en macetas de 6,3 L que contenían fibra de coco como sustrato (Fig. 3.2).

En cada jaula se colocaron 10 plantas alineadas en 2 filas de cinco (Fig. 3.3), considerándose una densidad de plantación de 2,5 plantas/m² para el cálculo de las introducciones de los diferentes enemigos naturales. Las prácticas culturales seguidas fueron las típicas para un cultivo de pimiento. Así pues, se realizó un cultivo sin poda y entutorado en espaldera. Para ello se creó una estructura compuesta por cintas de

nylon de color negro y perfiles de acero colocados a cada extremo de la línea de cultivo. A cada maceta se dotó de un emisor de caudal 2 L/h para el suministro hídrico y de nutrientes según necesidad.



Figura 3.3. Vista interior de una de las jaulas empleadas para los experimentos en la que se aprecia la disposición de las plantas y el sistema empleado para su entutorado.

3.2.4. Diseño Experimental

En el experimento de selección se compararon 4 tratamientos: *E. mundus*, *N. tenuis* + *E. mundus*, *A. swirskii* + *E. mundus* y *A. swirskii* + *N. tenuis* + *E. mundus*. Por su parte en el experimento de mejora el número de tratamientos comparados fue de 3: *E. mundus*, *A. swirskii* + *E. mundus* y *A. swirskii* + *E. mundus* + Plaguicidas. En ambos casos el diseño considerado fue de bloques completos al azar de cuatro repeticiones de cada tratamiento (Fig. 3.4).

En los dos experimentos el tratamiento donde el único enemigo natural introducido fue *E. mundus* fue considerado como tratamiento control, ya que el objetivo del presente trabajo fue su mejora a partir de las dos vías anteriormente propuestas. Hubiese resultado más convencional la incorporación como control en los experimentos de un tratamiento únicamente con la liberación del fitófago, sin embargo, el crecimiento de la población de mosca blanca en dichas condiciones es conocida a partir de estudios previos realizados en condiciones similares (Stansly *et al.* 2005b; Belda y Calvo 2006). En estos estudios el fitófago siempre alcanzó densidades poblacionales muy elevadas

que provocaron la aparición de daños graves en el cultivo, lo que no ofrece ninguna información que pueda ser aplicable en condiciones reales de cultivo. De igual modo, la inclusión de un tratamiento únicamente con *A. swirskii* pudiese haber sido conveniente. Sin embargo, se estimó más aconsejable estudiar la combinación *E. mundus* + *A. swirskii* con respecto a *E. mundus* solamente con el fin de establecer claramente la ventaja obtenida incorporando al fitoseido con respecto al tratamiento control.

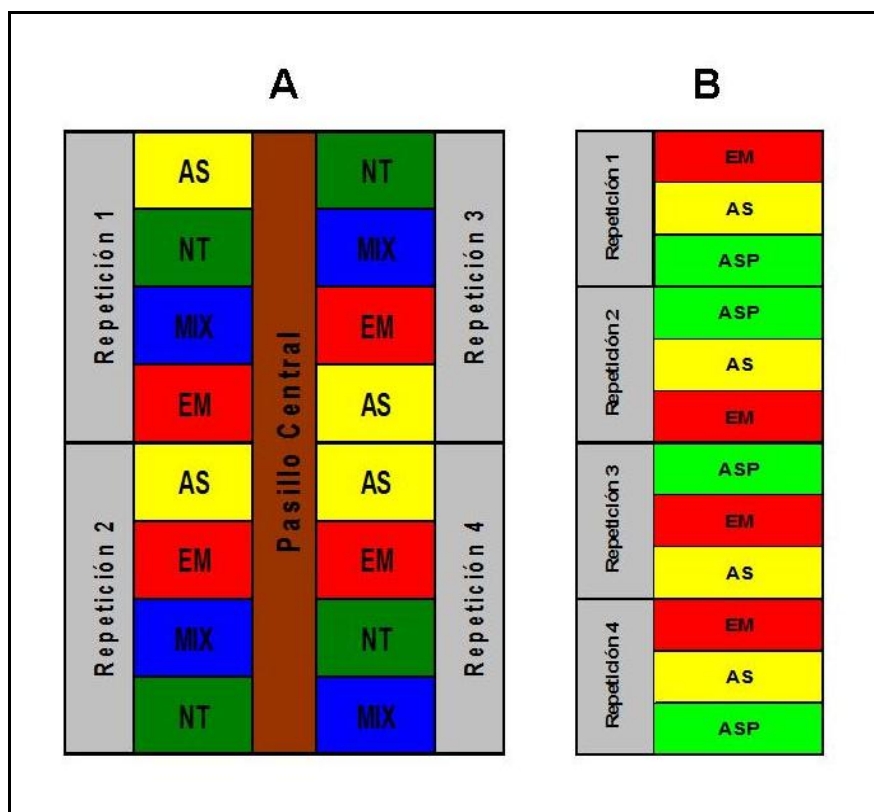


Figura 3.4. Diseño experimental del ensayo de selección (A) y de mejora (B). EM: *Eretmocerus mundus*, NT: *Nesidiocoris tenuis* + *E. mundus*, AS: *Amblyseius swirskii* + *E. mundus*, MIX: *A. swirskii* + *N. tenuis* + *E. mundus* y ASP: *E. mundus* + *A. swirskii* + Plaguicidas.

3.2.5. Utilización de mosca blanca, parasitoides y depredadores

Los adultos de *B. tabaci* procedían de una cría en masa que se inició a partir de una colonia obtenida en la zona de Murcia e identificada por medio de análisis PCR (Polymerase Chain Reaction) como biotipo Q. Para la preparación de las infestaciones los adultos de *B. tabaci* se introdujeron durante unos minutos en una cámara climática regulada a 8 °C. Posteriormente fueron contabilizados para introducir en cada jaula un total de 125 adultos/m², repartidos en 5 introducciones de 25 adultos/m² con una frecuencia semanal. La infestación se realizó de este modo para simular una

infestación gradual y fuerte de un invernadero comercial típico sometido a altas presiones de la plaga. La fecha de la primera introducción coincidió con la de trasplante en los dos experimentos realizados. Todos los adultos empleados para realizar cada una de las infestaciones semanales de todas las jaulas fueron cosechados simultáneamente de la cría en masa. Los adultos tenían menos de 24 horas de edad y pertenecían a una misma cohorte con el fin de garantizar al máximo la homogeneidad en cuanto a proporción de sexos y edad entre las poblaciones introducidas en cada una de las jaulas.



Figura 3.5. Imagen de una pupa de *Eretmocerus mundus*, estadio en el que fue introducido en los dos experimentos realizados.

El parasitoide *E. mundus* procedía de una cría en masa mantenida en las instalaciones de Koppert B.S. en Águilas (Murcia) y que se inició a partir de poblaciones originarias de diversas zonas de las provincias de Murcia y Almería. El parasitoide se introdujo en estado de pupa y las dosis de suelta empleadas en cada tratamiento se muestran en las tablas 3.1 (experimento selección) y 3.2 (experimento mejora). La proporción de sexos fue siempre 1:1 (hembras: machos). El periodo de introducción de *E. mundus*, así como su dosis de suelta se establecieron de acuerdo a la densidad poblacional de mosca blanca observada a partir de los muestreos realizados (ver apartado 3.2.7 Muestreo), tal y como se realiza en un cultivo típico.

El chinche depredador *N. tenuis* procedía de una cría en masa mantenida en las instalaciones de Koppert B. S. en Águilas (Murcia) y que se inició a partir de poblaciones originarias de diversas zonas de la provincia de Murcia. Para la

preparación de las introducciones, los adultos del depredador (Fig. 3.6) se introdujeron en primer lugar y durante unos minutos en una cámara climática regulada a 8 °C y después se contabilizaron para liberar en cada jaula las cantidades señaladas en la tabla 3.1. La proporción de sexos fue siempre 1:1 (hembras: machos). La introducción del mírido se realizó de una sola vez tal y como se realiza generalmente en un cultivo típico (Calvo y Urbaneja 2004).



Figura 3.6. Imagen de un adulto de *Nesidiocoris tenuis*, estadio en el que fue introducido en el experimento de selección.

El fitoseido *A. swirskii* fue suministrado por Koppert Biological Systems, quien tiene una cría en masa de esta especie en sus instalaciones en Holanda. Los fitoseidos empleados en cada experimento venían en un bote de 1 L que contenía 12500 ácaros mezclados con salvado. Para la preparación de las introducciones se extrajeron del bote 3 muestras de 0,5 g. Posteriormente se contabilizó el número de ácaros presentes en las muestras y se estimó el número de ácaros presentes en 1 g de producto. A partir de este dato se prepararon botes que contenían la cantidad necesaria de material para liberar 50 ácaros/m² (Tabla 3.1 y 3.2). El fitoseido fue introducido a esa dosis y de una sola vez en ambos experimentos.

La distribución de los diferentes organismos de control biológico se realizó de acuerdo a las pautas de introducción típicas seguidas en un cultivo comercial de pimiento. De este modo, *E. mundus* y *N. tenuis* fueron distribuidos en puntos de suelta (uno por jaula) y *A. swirskii* fue distribuido depositando de forma homogénea el material conteniendo los ácaros directamente sobre todas las plantas.

Tabla 3.1. Introducciones (individuos/m²) de *Eretmocerus mundus*, *Amblyseius swirskii* y *Nesidiocoris tenuis* en cada uno de los tratamientos durante el experimento de selección. Día de ensayo es el número de días transcurridos desde la primera introducción de *Bemisia tabaci* (Día 0).

Tratamientos - (Introducciones en individuos/m ²)						
	Día Ensayo	Fecha	<i>E. mundus</i>	<i>E. mundus</i> + <i>N. tenuis</i>	<i>E. mundus</i> + <i>A. swirskii</i>	<i>E. mundus</i> + <i>A. swirskii</i> + <i>N. tenuis</i>
<i>E. mundus</i>	7	1 Junio	6	6	6	6
	14	8 Junio	6	6	6	6
	21	15 Junio	6	6	-	-
	28	22 Junio	6	6	-	-
	Total		24	24	12	12
<i>N. tenuis</i>	14	8 Junio	-	5	-	5
<i>A. swirskii</i>	7	1 Junio	-	-	50	50

Tabla 3.2. Introducciones (individuos/m²) de *Eretmocerus mundus* y *Amblyseius swirskii* y plaguicidas empleados en cada uno de los tratamientos durante el experimento de mejora. Día de Ensayo es el número de días transcurridos desde la primera introducción de *Bemisia tabaci* (Día 0).

Tratamientos - (Introducciones en individuos/m ²)					
	Día Ensayo	Fecha	<i>E. mundus</i>	<i>E. mundus</i> + <i>A. swirskii</i>	<i>E. mundus</i> + <i>A. swirskii</i> + Plaguicidas
<i>E. mundus</i>	7	29 Julio	3	3	3
	14	4 Agosto	3	3	3
	21	11 Agosto	4	4	1
	28	18 Agosto	6		1,5
	Total		16	10	6,5
<i>A. swirskii</i>	14	4 Agosto		50	50
Plaguicidas	1	22 Julio			Oxamilo (5L /ha)
	4	25 Julio			Piriproxifen (0,7 mL/L) + Jabón (10 mL/L)
	11	1 Agosto			Piriproxifen (0,7 mL/L) + Jabón (10 mL/L)

3.2.6. Plaguicidas

En la sexta semana del experimento de selección se aplicó fenbutaestan 55% (p/v) SC (Norvan 55 SCTM; BASF, Berlin, Germany) a una dosis de 1 mL/L en los tratamientos donde inicialmente no se había introducido *A. swirskii*. El objetivo fue eliminar la población de *A. swirskii* que apareció de forma accidental en dichos tratamientos. Este producto se eligió debido a su alta toxicidad sobre *A. swirskii* (Clase 3; Vogt 1994) y su inocuidad sobre *B. tabaci* (Clase 1; Vogt 1994), *N. tenuis* (Clase 1; Vogt 1994) y pupas de *E. mundus* (Clase 1; Vogt 1994), de acuerdo con ensayos previos de laboratorio (Calvo FJ, Datos sin publicar).

Para el experimento de mejora los plaguicidas aplicados se seleccionaron de la lista de productos fitosanitarios autorizados en pimiento en el momento de ejecución del experimento (MARM 2009). Como criterios para su elección se valoró su eficacia frente a mosca blanca y su inocuidad sobre *A. swirskii* y *E. mundus* (pupas), así como el plazo de seguridad a considerar desde su aplicación hasta que la introducción de los enemigos naturales es posible sin riesgo para ellos. De este modo, los formulados seleccionados fueron oxamilo 10% (p/v) SL (Vydate 10LTM; DuPont, Wilmington, DE, USA), piriproxyfen 10% (p/v) EC (AtominalTM; Massó Agro, Barcelona, España) y jabón potásico (BiosoapTM; Koppert B.S., Berkel en Rodenrijs, Países Bajos). En la tabla 3.2 se muestra el número de aplicaciones realizadas de cada uno de dichos formulados, así como la dosis empleada para cada uno de ellos.

Los plaguicidas Norvan, Atominal y Biosoap se aplicaron empleando una mochila de pulverización (MatabiTM; Goizper, Antzuola (Guipúzcoa), España) de accionamiento manual, rango de presión de funcionamiento 1,5-3 bar, caudal 0,8 L/min (3 bar) y dotada de una boquilla difusora de 1,5 mm de diámetro. Durante las aplicaciones se puso especial cuidado para garantizar una elevada eficiencia de la aplicación. Por otro lado, Vydate se aplicó directamente sobre las macetas, simulando una aplicación por riego. Para ello, a cada planta se le suministró 1/25000 partes de la dosis correspondiente a una hectárea (Dosis: 5 L/ha; Densidad de plantación: 2,5 pl/m²; 2,5 pl/m² = 25000 pl/ha), es decir, cada planta recibió 0,2 mL de Vydate diluidos en 0,16 L de agua, cantidad equivalente a la que se aplicaba en cada riego a cada planta por el sistema de fertirrigación.

3.2.7. Muestreo

Tanto en el experimento de selección como en el de mejora la frecuencia entre muestreos fue semanal, realizándose un total de 11 y 7 recuentos en cada uno de ellos, respectivamente. En ambos experimentos, el primer muestreo se realizó una semana después de la primera liberación de *B. tabaci* (Selección: 01/06/2005; Mejora: 28/07/05). En cada uno de los muestreos se seleccionaron tres hojas de cada una de las 5 plantas seleccionadas al azar en cada jaula. En cada una de las plantas una hoja pertenecía a su estrato superior, otra al medio y la otra al inferior. En todas ellas se contabilizaron el número de ninfas (N1-N4), pupas parasitadas y no parasitadas y adultos de *B. tabaci* y el número de formas móviles de *A. swirskii*. En el caso del experimento de selección, además, para el seguimiento de la población de *N. tenuis* se seleccionaban de las mismas plantas que para el resto de especies, 3 hojas de su estrato superior, 1 del estrato medio y una del estrato inferior, anotándose el número de ninfas y adultos de *N. tenuis* presentes. Los muestreos se realizaron *in situ* en el invernadero de ensayo y empleando una lupa de campo de 15X. A la hora de tomar los datos, las hojas eran volteadas cuidadosamente y en primer lugar se contabilizaban el número de adultos de *B. tabaci* y *N. tenuis*, para posteriormente contabilizar el resto de estadios de las diferentes especies de interés.

3.2.8. Análisis estadístico

Para los dos experimentos realizados, los datos obtenidos a lo largo de los diferentes muestreos fueron transformados en ninfas más pupas de *B. tabaci*, adultos de *B. tabaci*, míridos (ninfas más adultos; experimento de selección) y ácaros (formas móviles) acumulados días para cada jaula, planta y estrato como índice del crecimiento de la población de cada uno de estos organismos a lo largo del experimento (Carey 1993; Ruppel 1983). Este método ha sido ya empleado en otros trabajos de diseño similar (Stansly *et al.* 2005b; Sánchez y Lacasa 2008; Calvo *et al.* 2009). El porcentaje de parasitismo de *E. mundus* sobre *B. tabaci* fue calculado para cada uno de los tratamientos comparados empleando la fórmula $100 \times [\text{pupas parasitadas} / (\text{pupas parasitadas} + \text{pupas no parasitadas})]$. Dichos datos fueron posteriormente analizados mediante un test ANOVA según diseño del experimento junto con un test de Tukey ($P < 0,05$) para la determinación de posibles diferencias entre los tratamientos comparados. Para cumplir los supuestos del análisis de varianza, el número de insectos y ácaros acumulados día, así como el porcentaje de parasitismo fueron transformados empleando la expresión $\log(x+1)$ y $\arcsen \sqrt{x}$, respectivamente. Sin

embargo, tanto en las tablas como en las figuras se muestran los valores no transformados de las variables. También se calculó en cada uno de los experimentos, como un índice de la eficacia de los tratamientos con introducción de *N. tenuis*, *A. swirskii* y plaguicidas con respecto al tratamiento donde solo se liberó *E. mundus*, el porcentaje de reducción de la población de ninfas más pupas de mosca blanca mediante la ecuación $100 \times (1 - (\text{Tratado} / \text{Control}))$, (Abbott 1925).

3.3. Resultados

3.3.1. Experimento de selección

Durante las tres primeras semanas del experimento, periodo en el que se realizaron las introducciones de *B. tabaci* para la infestación del cultivo, la densidad poblacional de los adultos de mosca blanca fue similar en todos los tratamientos (Fig. 3.7 a). Posteriormente, en los tratamientos donde no se introdujo *A. swirskii* la evolución de la población de adultos de mosca blanca fue similar, si bien, en el tratamiento donde únicamente se introdujo *E. mundus* el número de adultos de mosca blanca por hoja fue siempre superior al tratamiento donde además se introdujo *N. tenuis*. De este modo, el número de adultos de *B. tabaci* por hoja continuó creciendo hasta la quinta semana del experimento en ambos tratamientos, momento en el que se alcanzó el nivel poblacional más elevado. En las semanas posteriores el número de adultos por hoja descendió, pero manteniendo una densidad poblacional constante en la parte final del experimento. En los tratamientos donde se introdujo el fitoseido, tras el periodo de infestación, el número de adultos de mosca blanca por hoja descendió progresivamente hasta el final del experimento, registrándose finalmente valores cercanos a cero adultos por hoja. Con estos valores, el número de adultos de mosca blanca acumulados días fue significativamente superior en el tratamiento donde únicamente se liberó *E. mundus* que en el resto ($F= 5,372$; g.l.= 3, 9; $P=0,039$; Tabla 3.3).

El número de ninfas más pupas de mosca blanca por hoja fue semejante a lo largo de todo el experimento entre los dos tratamientos donde se introdujo *A. swirskii* (Fig. 3.7 b). En estos tratamientos la densidad poblacional de ninfas más pupas se incrementó durante las tres primeras semanas del experimento, disminuyendo posteriormente hasta registrar, seis semanas después del inicio, valores cercanos a cero individuos por hoja, donde permaneció hasta el final del estudio. También, la reducción de la población de ninfas más pupas de *B. tabaci* en el tratamiento combinando o no *A.*

swirskii y *N. tenuis* con respecto al tratamiento donde únicamente se liberó *E. mundus* fue del 98,9 y del 100 %, respectivamente. Además, en estos tratamientos el número de ninfas más pupas acumuladas días fue significativamente inferior que en los tratamientos donde se introdujo únicamente *E. mundus* o este junto a *N. tenuis* solamente, tratamientos estos últimos entre los que no se registraron diferencias significativas ($F= 22,480$; g.l.= 3, 9; $P=0,001$; Tabla 3.3) y en los que el número de ninfas más pupas de *B. tabaci* por hoja fue siempre superior al registrado en los tratamientos donde se liberó *A. swirskii*.

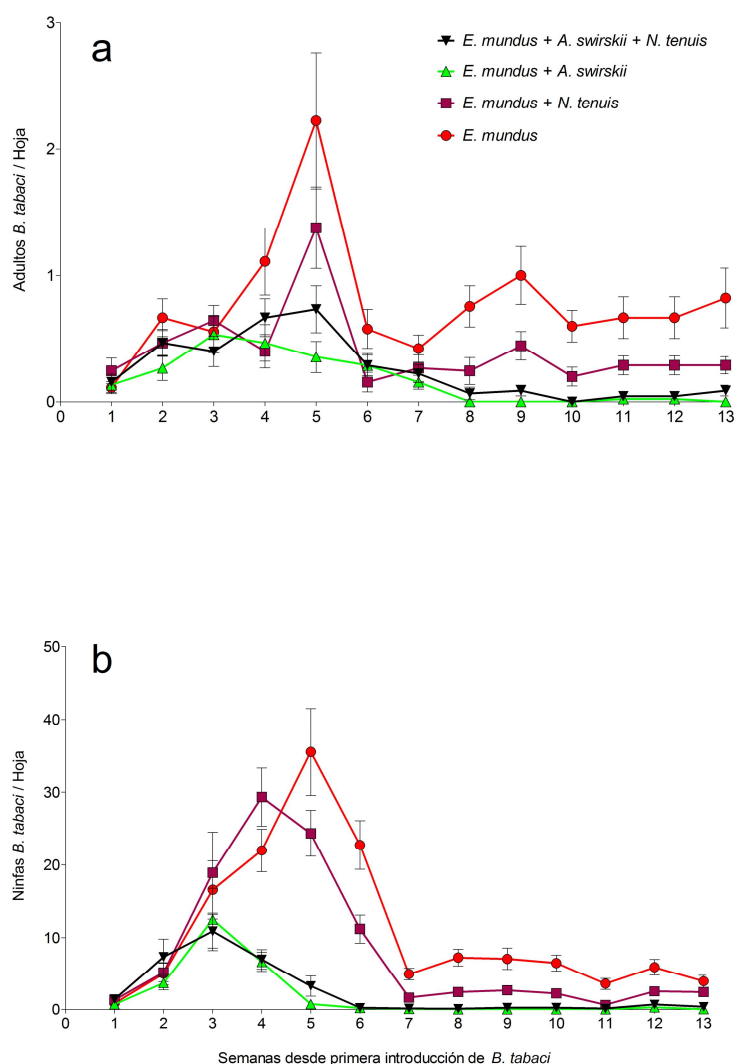


Figura 3.7. Número (Media \pm Error estándar) de adultos (a) y ninfas más pupas (b) de *Bemisia tabaci* por hoja y por semana en cada uno de los tratamientos a lo largo del experimento de selección. La primera introducción de *B. tabaci* se realizó una semana antes del primer muestreo (semana 0) y *Amblyseius swirskii* se liberó justo después del primer muestreo en la semana 1. La introducción de *Nesidiocoris tenuis* se realizó en la semana 2.

La población de *A. swirskii* creció rápidamente tras su introducción en los dos tratamientos donde fue liberado, alcanzando su máxima densidad poblacional 5 y 6

semanas después de su introducción en el tratamiento donde se utilizó junto a *E. mundus* y en el que se combinó con *E. mundus* y *N. tenuis*, respectivamente (Fig. 3.8). Tras alcanzar estos máximos el número de *A. swirskii* por hoja descendió paulatinamente hasta el final del experimento, si bien siempre se registró más de un ácaro por hoja en ambos tratamientos. El depredador fue detectado en las jaulas de los dos tratamientos donde inicialmente no había sido liberado. Sin embargo, mediante la aplicación en la sexta semana del experimento de fenbutaestan su densidad poblacional se mantuvo a niveles despreciables, siendo el número de ácaros acumulados días significativamente superior en los tratamientos donde se liberó inicialmente el fitoseido, entre los que no hubo diferencias ($F= 31,606$; g.l.= 3, 9; $P<0,001$; Tabla 3.3).

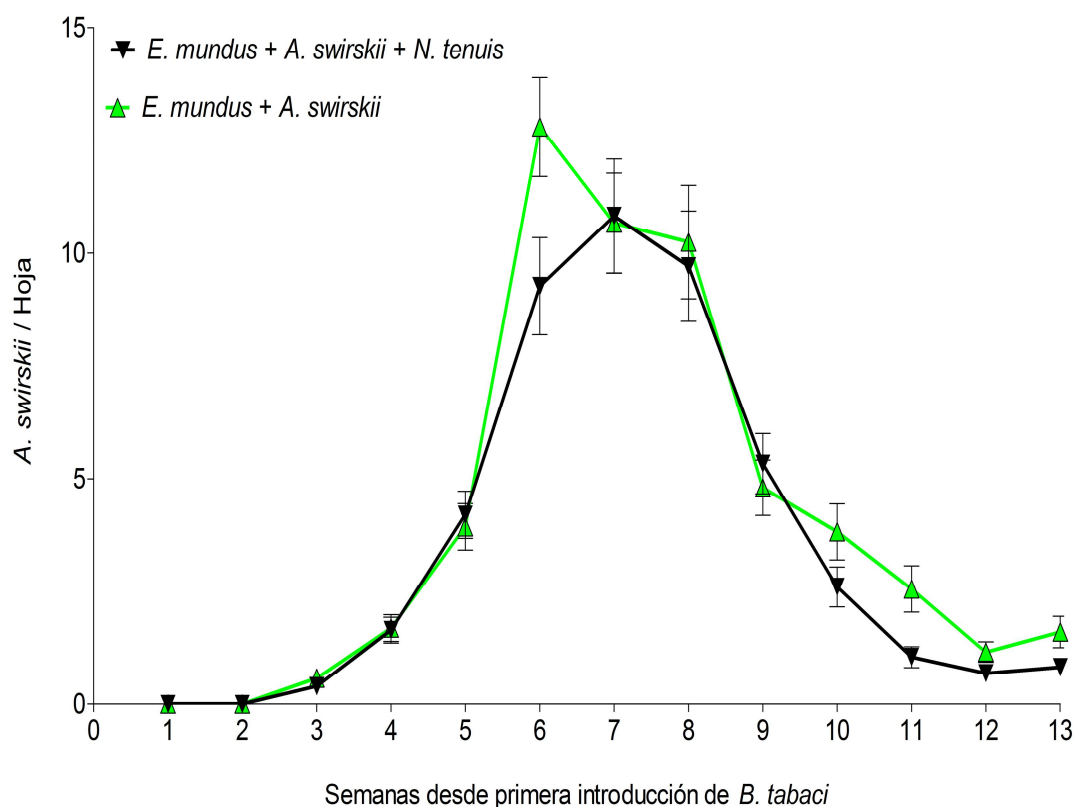


Figura 3.8. Número (Media \pm Error estándar) de *Amblyseius swirskii* (formas móviles) por hoja y por semana en cada uno de los tratamientos a lo largo del experimento de selección. La primera introducción de *Bemisia tabaci* se realizó una semana antes del primer muestreo (semana 0) y *A. swirskii* se liberó justo después del primer muestreo en la semana 1.

La población de *N. tenuis* siguió una tendencia parecida en los dos tratamientos donde fue introducido hasta la octava semana del experimento (Fig. 3.9), marcando en ambos casos un pico poblacional en la sexta semana. Sin embargo, posteriormente el

número de *N. tenuis* por hoja descendió progresivamente hasta valores próximos a cero en el tratamiento donde se combinó con *A. swirskii*, mientras que donde no se realizó tal combinatoria el número de *N. tenuis* por hoja se incrementó hasta marcar un nuevo pico poblacional diez semanas después del inicio del experimento. Estas diferencias dieron lugar a que el número de *N. tenuis* acumulados días fuese significativamente diferente entre ambos tratamientos ($F= 625,000$; g.l.= 1, 3; $P=0,002$; Tabla 3.3).

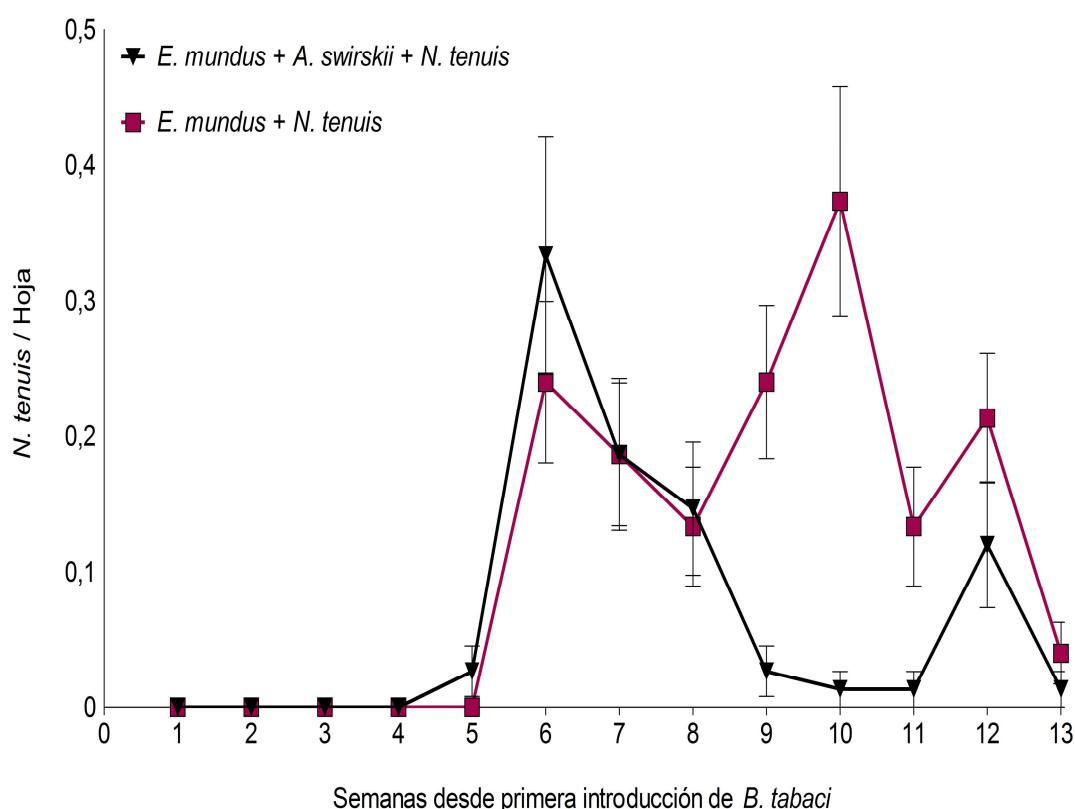


Figura 3.9. Número (Media \pm Error estándar) de *Nesidiocoris tenuis* (ninfas y adultos) por hoja y por semana en cada uno de los tratamientos a lo largo del experimento de selección. La primera introducción de *Bemisia tabaci* se realizó una semana antes del primer muestreo (semana 0) y la introducción de *N. tenuis* se realizó en la semana 2.

Con respecto a *E. mundus*, no se registraron diferencias significativas en el porcentaje de parasitismo entre los tratamientos ($F= 0,404$; g.l.= 3, 9; $P=0,750$; Tabla 3.3), el cual osciló, dependiendo del tratamiento, entre el $74,5 \pm 3,69$ % y el $80,5 \pm 6,68$ %.

Tabla 3.3. Número (Media \pm Error estándar) de ninfas más pupas de *Bemisia tabaci*, adultos de *B. tabaci*, *Nesidiocoris tenuis* (adultos más ninfas) y *Amblyseius swirskii* (formas móviles) acumulados días y porcentaje (Media \pm Error estándar) de pupas parasitadas por *Eretmocerus mundus* en cada uno de los tratamientos durante el experimento de selección.

Tratamiento	<i>B. tabaci</i>			<i>N. tenuis</i>	<i>A. swirskii</i>
	Ninfas + Pupas	Adultos	Parasitismo	Ninfas + Adultos	Formas móviles
<i>E. mundus</i>	910,7 \pm 77,70 a	54,1 \pm 7,35 a	79,0 \pm 2,70 a	-----	9,6 \pm 2,36 b
<i>E. mundus</i> + <i>N. tenuis</i>	694,2 \pm 76,04 a	30,4 \pm 4,04 b	74,6 \pm 3,69 a	8,7 \pm 0,92 a	0,9 \pm 0,42 b
<i>E. mundus</i> + <i>A. swirskii</i>	170,9 \pm 39,01 b	15,4 \pm 2,83 b	80,6 \pm 6,68 a	-----	348,7 \pm 27,18 a
<i>E. mundus</i> + <i>N. tenuis</i> + <i>A. swirskii</i>	213,3 \pm 37,83 b	21,6 \pm 2,89 b	77,9 \pm 5,20 a	5,2 \pm 0,90 b	311,5 \pm 26,17 a

Medias en una misma columna seguida por una misma letra implica la inexistencia de diferencias estadísticamente significativas (Tukey, $P > 0,05$).

Tabla 3.4. Número (Media \pm Error estándar) de ninfas de *Bemisia tabaci*, adultos de *B. tabaci* y *Amblyseius swirskii* (formas móviles) acumulados días y porcentaje (Media \pm Error estándar) de pupas parasitadas por *Eretmocerus mundus* en cada uno de los tratamientos durante el experimento de mejora.

Tratamiento	<i>B. tabaci</i>			<i>A. swirskii</i>
	Ninfas + Pupas	Adultos	Parasitismo	Formas móviles
<i>E. mundus</i>	1474,5 \pm 113,0 a	55,8 \pm 5,84 a	86,7 \pm 2,72 a	7,6 \pm 1,09 b
<i>E. mundus</i> + <i>A. swirskii</i>	441,0 \pm 53,58 b	37,7 \pm 4,10 b	87,7 \pm 3,03 a	140,3 \pm 9,73 a
<i>E. mundus</i> + <i>A. swirskii</i> + Plaguicidas	56,0 \pm 10,72 c	16,3 \pm 2,33 c	63,7 \pm 6,72 b	67,2 \pm 6,12 b

Medias en una misma columna seguida por una misma letra implica la inexistencia de diferencias estadísticamente significativas (Tukey, $P > 0,05$).

3.3.2. Experimento de Mejora

El número de adultos de mosca blanca por hoja fue siempre inferior en el tratamiento donde se aplicaron plaguicidas antes de la introducción de *A. swirskii* (Fig. 3.11), siendo además el tratamiento en el que se registró el menor número de adultos de *B. tabaci* acumulados días ($F= 5,169$; g.l.= 2, 6; $P= 0,042$; Tabla 3.4). Por el contrario, el tratamiento donde únicamente se liberó el parásito el número de adultos de *B. tabaci* por hoja fue siempre, salvo en las dos primeras semanas, el más elevado, registrándose además el mayor número de adultos de *B. tabaci* acumulados días. En una posición intermedia entre ambos tratamientos quedó en el que se combinó el parasitoide y el fitoseido, pero sin plaguicidas.

El número de ninfas más pupas de *B. tabaci* por hoja fue siempre inferior a 4 a lo largo de todo el experimento en el tratamiento donde se emplearon inicialmente insecticidas, lográndose además en este tratamiento una reducción del número de ninfas más pupas de *B. tabaci* del 100 % con respecto al tratamiento donde solo se liberó *E. mundus*. En el tratamiento donde se liberaron *A. swirskii* y *E. mundus*, pero no se aplicaron plaguicidas, el número de ninfas más pupas creció hasta la cuarta semana del experimento, momento a partir del cual descendió hasta valores próximos a cero dos semanas después. En estos valores permaneció hasta el final del experimento, lográndose una reducción del número de ninfas más pupas de mosca blanca del 99,5 % con respecto al tratamiento donde únicamente se introdujo *E. mundus*. En el tratamiento control la densidad poblacional de ninfas más pupas de *B. tabaci* creció de forma continuada hasta la sexta semana del experimento, alcanzando un número por hoja cercano a 60 veces superior al tratamiento donde se liberó *A. swirskii* y se aplicaron plaguicidas. Posteriormente, el número de inmaduros de *B. tabaci* por hoja descendió de forma paulatina hasta el final del experimento. Así pues, en el tratamiento con solo *E. mundus* se registró el número de ninfas más pupas acumuladas días significativamente mayor, intermedio en el que se combinó *E. mundus* y *A. swirskii* y el menor donde se aplicaron además fitosanitarios antes de la introducción del depredador ($F= 25,756$; g.l.= 2, 6; $P= 0,001$; Tabla 3.4).

La incidencia de parasitismo fue significativamente inferior en el tratamiento donde se aplicaron plaguicidas con respecto a los otros dos tratamientos comparados, entre los que no aparecieron diferencias ($F= 9,48$; g.l.= 2, 6; $P<0,001$; Tabla 3.4).

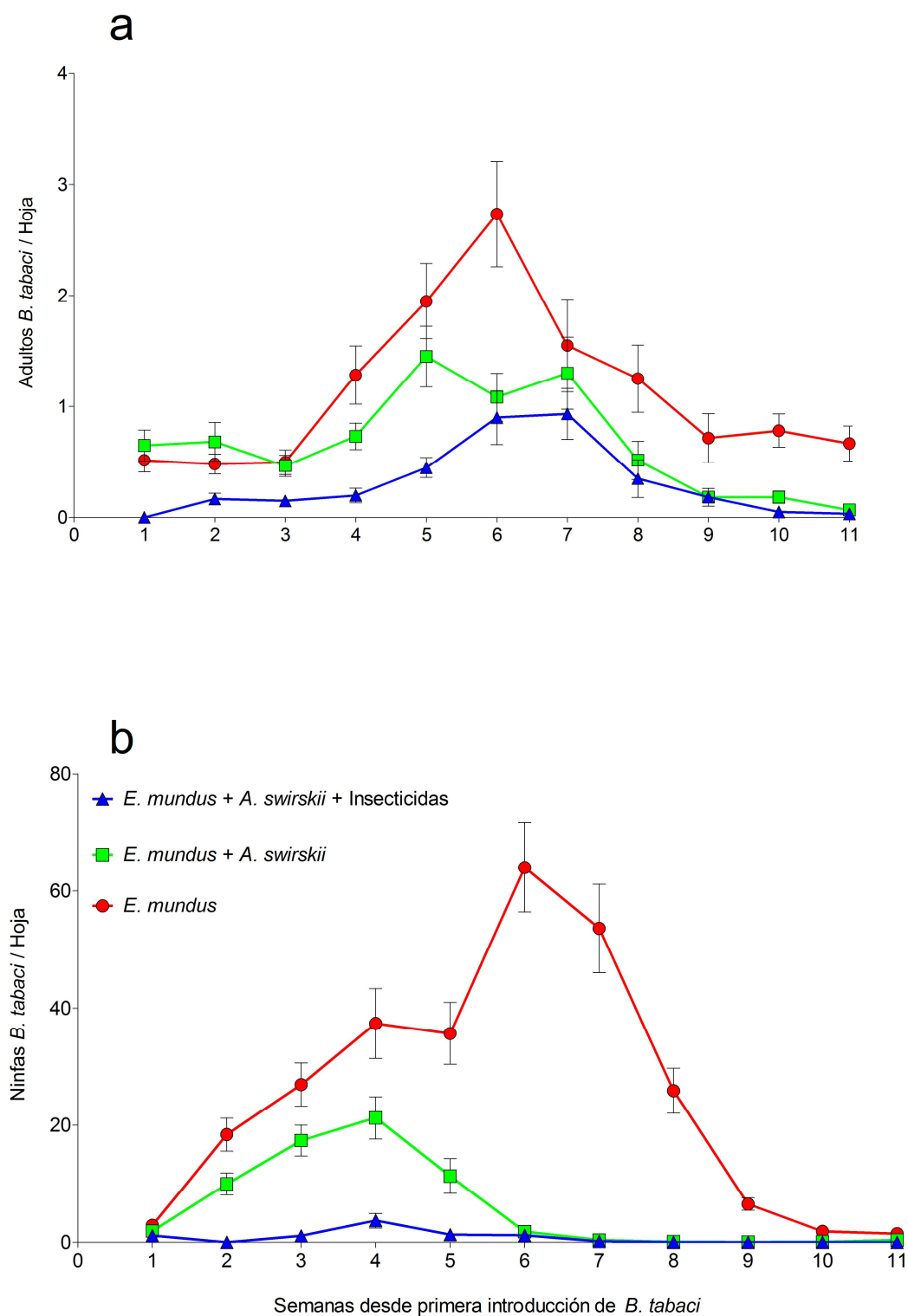


Figura 3.10. Número (Media \pm Error estándar) de adultos (a) y ninfas más pupas (b) de *Bemisia tabaci* por hoja y por semana en cada uno de los tratamientos a lo largo del experimento de mejora. La primera introducción de *B. tabaci* se realizó una semana antes del primer muestreo (semana 0) y *Amblyseius swirskii* se liberó justo después del primer muestreo en la semana 1. Los insecticidas se aplicaron antes de la introducción de *A. swirskii*.

La población de *A. swirskii* creció rápidamente en los dos tratamientos donde fue introducido tras su liberación (Fig. 3.13). Sin embargo, el número de ácaros por hoja fue siempre inferior en el tratamiento en el que se aplicaron insecticidas, resultando en un número de ácaros acumulados días significativamente inferior en este tratamiento ($F = 47,186$; g.l. = 2, 6; $P < 0,001$; Tabla 3.4).

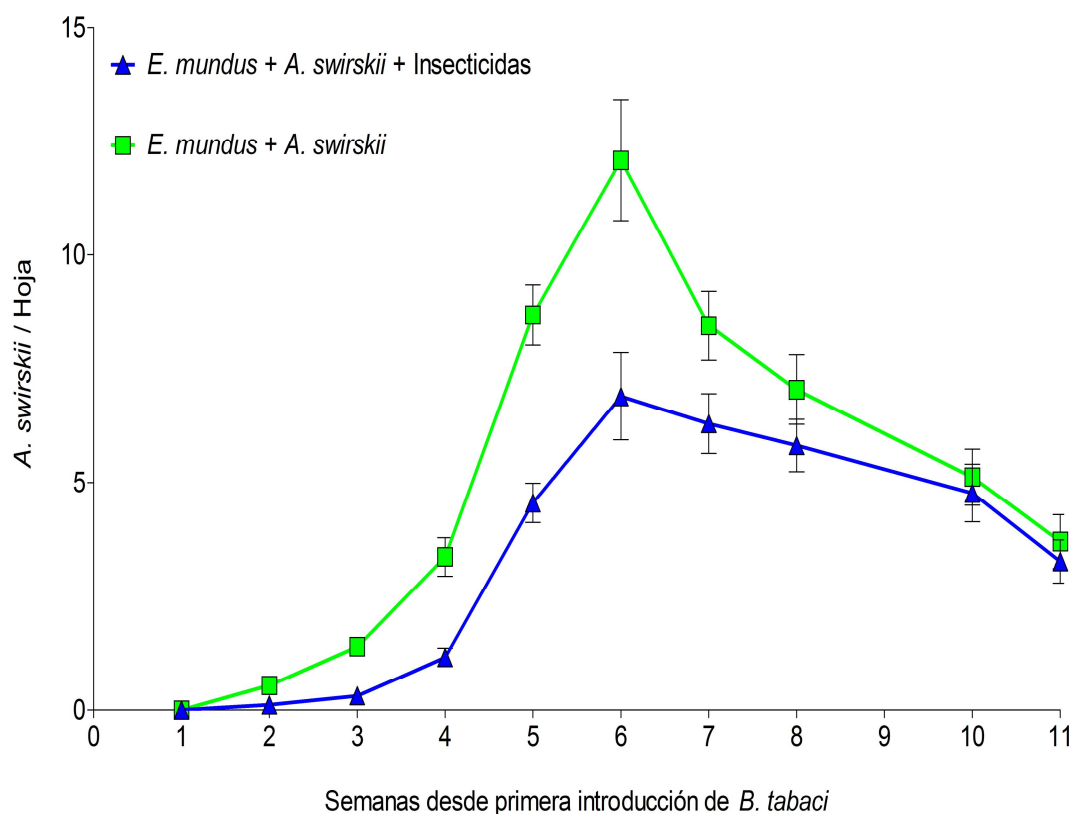


Figura 3.11. Número (Media \pm Error estándar) de *Amblyseius swirskii* (formas móviles) por hoja y por semana en cada uno de los tratamientos a lo largo del experimento de selección. La primera introducción de *B. tabaci* se realizó una semana antes del primer muestreo (semana 0) y *A. swirskii* se liberó justo después del primer muestreo en la semana 1. Los insecticidas se aplicaron antes de la introducción de *A. swirskii*.

3.4. Discusión

Durante el experimento de selección el número de ninfas de mosca blanca fue significativamente inferior como respuesta a la introducción de *A. swirskii*, mientras que la utilización de *N. tenuis* no redujo de forma significativa la incidencia de la plaga con respecto a los tratamientos donde el mío no fue liberado. Así pues, la introducción de *N. tenuis* en combinación con *E. mundus* ó *A. swirskii* no supondría un

incremento significativo de la eficacia frente a mosca blanca en pimiento en las condiciones aquí estudiadas.

En el tratamiento donde se combinaron el ácaro y el chinche depredador se observó un menor nivel poblacional de este último con respecto al tratamiento donde únicamente se introdujo, además de *N. tenuis*, el parasitoide *E. mundus*. Esto pudo deberse a diversos factores, si bien la menor disponibilidad de presa en combinación con *A. swirskii* es la causa más probable. De acuerdo con Urbaneja *et al.* (2005) las ninfas de *N. tenuis* no son capaces de alcanzar el estado adulto en condiciones de ausencia de presa. De este modo, una menor disponibilidad de presa en combinación con *A. swirskii* habría podido causar una inanición total o parcial de un cierto número de ninfas, resultando en una menor población del mírido debido a un incremento de la mortalidad de los inmaduros. El canibalismo pudo ser otra causa potencial, si bien este comportamiento no es frecuente en condiciones de campo en otras especies zoofitófagas semejantes a *N. tenuis* (Castañe *et al.* 2002; Lucas y Alomar 2002). Otra posible causa podría ser la depredación intra-gremial, en la que *A. swirskii* actuara como depredador. Sin embargo, esta hipótesis sería también *a priori* descartable, debido fundamentalmente a las diferencias de tamaño entre ambas especies. En relación a esto, Madadi *et al.* (2008) observaron que adultos de *Neoseiulus cucumeris* (Oudemans) (Acari: Phytoseiidae) eran capaces de depredar ninfas de primer estadio del antócorido *Orius albidipennis* (Reuter) (Heteroptera: Anthocoridae), pero en una cantidad muy reducida y en unas condiciones de aislamiento total, concluyendo los autores que podría ser considerado un fenómeno despreciable.

En cualquier caso, los resultados obtenidos sugieren que *N. tenuis* no debería ser recomendado para su utilización como agente de control biológico de mosca blanca en pimiento en combinación con *A. swirskii*, ya que como se ha indicado su inclusión no mejora la eficacia frente al fitófago. Esto contrasta, sin embargo, con la situación en el cultivo de tomate, donde *N. tenuis* constituye la base del control de mosca blanca (Calvo y Urbaneja, 2004) y donde introducciones de tipo inoculativas de este depredador han demostrado ser capaces de reducir de forma significativa poblaciones de este fitófago (Calvo *et al.* 2009). Urbaneja *et al.* (2005) observaron que la fecundidad y la supervivencia de los inmaduros eran más elevadas y el tiempo de desarrollo de huevo a adulto era más reducido en tomate que en pimiento, lo cual explicaría el porque *N. tenuis* resulta más eficaz en tomate que en pimiento.

El experimento de mejora confirmó los resultados del ensayo de selección, ya que de nuevo la incorporación de *A. swirskii* disminuyó de forma significativa la población de mosca blanca con respecto al tratamiento donde únicamente se liberó *E. mundus*. Belda y Calvo (2006) y Stansly *et al.* (2005b) realizaron unos ensayos sobre control de mosca blanca en pimiento en unas condiciones semejantes a las del presente trabajo y en los que incluyeron un tratamiento control únicamente con *B. tabaci* y en el que para infestar el cultivo introdujeron un total de 30 y 12 adultos de mosca blanca por metro cuadrado, respectivamente. Estos autores observaron ocho semanas después de la introducción de *B. tabaci* una densidad poblacional de aproximadamente 60 ninfas/hoja y un número de ninfas acumuladas días al final del experimento de hasta 50 veces superior al observado en el presente experimento en el tratamiento donde se liberó *A. swirskii*. La comparación de dichos datos con los resultados del presente trabajo muestra claramente la capacidad de *A. swirskii* para controlar de forma eficaz poblaciones de mosca blanca.

El experimento de mejora también permitió comprobar que la aplicación de plaguicidas antes de la introducción de *A. swirskii* incrementó de forma significativa la eficacia frente a la plaga, presumiblemente gracias a que posibilitó una menor densidad poblacional del fitófago cuando se liberó el depredador, disminuyendo así con respecto a los otros tratamientos el ratio inicial depredador:presa. Este ratio ha sido identificado como un factor que puede afectar a la eficacia de un determinado enemigo natural (Crowder 2007). Los plaguicidas empleados son inocuos para *E. mundus* (estadio de pupa) y *A. swirskii*, de acuerdo a ensayos previos llevados a cabo (Calvo FJ, Datos sin publicar), por lo que la menor población observada del ácaro depredador en el tratamiento donde estos fueron aplicados debió venir provocada por la menor disponibilidad de presa.

Stansly *et al.* (2005b) lograron reducir de forma significativa la población de mosca blanca mediante la liberación de un total de 36 *E. mundus*/m². La densidad de mosca blanca observada en las plantas donde fue liberada dicha cantidad de parasitoides es comparable a la obtenida en el presente trabajo en el tratamiento donde únicamente se liberó *E. mundus*. Esto unido al alto porcentaje de parasitismo observado da muestra de la contribución de este parásito al control de mosca blanca. Por otro lado, Stansly *et al.* (2005a) demostraron que *E. mundus* era más apto que *E. eremicus* en invernaderos comerciales de pimiento del sureste español para el control de *B. tabaci*, motivo que propició el uso del primero en lugar de este último como agente de control biológico de *B. tabaci* en pimiento (Urbaneja *et al.* 2003). Así pues, si en el presente

trabajo se ha puesto de manifiesto que la combinación de *A. swirskii* y *E. mundus* incrementa de forma significativa la eficacia frente a mosca blanca con respecto al uso únicamente del parasitoide, debería ser dicha combinación la estrategia recomendada para el control de mosca blanca para los cultivos de pimiento.

Esta combinación incorpora ciertas ventajas desde un punto de vista técnico respecto a una estrategia donde únicamente se emplee el parasitoide. Por un lado, *E. mundus* precisa de la presencia del hospedador en el cultivo para poder establecerse, mientras que *A. swirskii* puede hacerlo antes debido a que es capaz de alimentarse de fuentes alternativas de alimento como polen y de otras plagas como *Tetranychus urticae* Koch y *Polyphagotarsonemus latus* Banks o el trips *Frankliniella occidentalis* Pergande (Swirski *et al.* 1967; Ragusa y Swirski 1975; Hoda *et al.*, 1986; Momen y El-Saway 1993; Nomikou *et al.* 2002, 2003; van Houten *et al.* 2005; Messelink *et al.* 2006). Por otro lado, *E. mundus* parasita todos los estadios inmaduros de la mosca blanca salvo huevos y pupas, si bien tiene preferencia por los estadios N2-N3 (Foltyn y Gerling 1985; Urbaneja y Stansly 2004), mientras que *A. swirskii* depreda fundamentalmente huevos y *crawlers* de *B. tabaci* (Nomikou *et al.* 2001, 2004). De este modo, combinando ambos enemigos naturales se atacarían todos los estados inmaduros de desarrollo de la plaga, logrando teóricamente controlarla de forma más rápida. Presumiblemente a medio-largo plazo *A. swirskii* desplazaría a *E. mundus* dado que estaría depredando los futuros huéspedes potenciales del parasitoide. Straub (2008) definió ambas interacciones como de complementariedad y de selección del enemigo natural más apto, respectivamente, señalando además que ambas resultan positivas para el control biológico. Esto podría explicar, desde un punto de vista teórico, el por qué la incorporación de *A. swirskii* incrementaría de forma significativa la eficacia frente a *B. tabaci* tanto a corto como medio y largo plazo.

Desafortunadamente, la duración del presente trabajo no ha permitido relacionar el incremento de la eficacia frente a la plaga con un descenso en los costes de control de la misma o con un incremento de la producción. Un ciclo de cultivo de pimiento típico suele durar 9-10 meses, iniciándose el periodo de cosecha aproximadamente 3 meses después del trasplante. Así pues, no ha sido posible realizar medidas de producción debido a que el periodo de ejecución de los experimentos llevados a cabo ha sido 7 y 11 semanas, respectivamente, para los ensayos de selección y mejora. Pese a ello, la dosis de suelta de *E. mundus* fue inferior cuando se combinó con *A. swirskii*, lo que unido a la mayor eficacia de esta combinatoria, que permitiría presumiblemente reducir

el número de aplicaciones de fitosanitarios necesarias, reduciría los costes del control de plagas, ofreciendo así una justificación económica al uso de *A. swirskii*.

Todo lo anterior demuestra que la estrategia más eficaz de las aquí comparadas es la combinación de *E. mundus* y *A. swirskii* junto con la aplicación de plaguicidas previamente a la liberación de los primeros enemigos naturales. Sin embargo, fue preciso confirmar los resultados aquí obtenidos en ensayos posteriores de campo antes de que esta estrategia fuera recomendada como la mejor frente a mosca blanca.

3.5. Bibliografía

- Abbott, W.A., 1925. A method to computing the effectiveness of an insecticide. *Journal of Economic Entomology* 18. 265-267.
- Belda, J.E., Calvo, J., 2006. Eficacia de *Amblyseius swirskii* Athias-Henriot (Acari: Phytoseiidae) en el control biológico de *Bemisia tabaci* (Genn.) (Hom.: Aleyrodidae) y *Frankliniella occidentalis* (Pergande) (Thys.: Thripidae) en pimiento en condiciones de semicampo. *Boletín de Sanidad Vegetal Plagas* 32. 283-296.
- Cahill, M., Gorman, K., Day, S., Denholm, I., Elbert, A., Nauen, R., 1996a. Baseline determination and detection of resistance to imidacloprid in *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae). *Bulletin of Entomological Research* 86. 343-349.
- Cahill, M., Jarvis, W., Gorman, K., Denholm, I., 1996b. Resolution of baseline response and documentation of resistance to buprofezin in *Bemisia tabaci* (Hom.: Aleyrodidae). *Bulletin of Entomological Research* 86. 117-122.
- Calvo, J., Urbaneja, A., 2004. *Nesidiocoris tenuis*, un aliado para el control biológico de la mosca blanca. *Horticultura Internacional* 44. 20-25.
- Calvo, J., Bolckmans, K., Stansly, P.A., Urbaneja, A., 2009. Predation by *Nesidiocoris tenuis* on *Bemisia tabaci* and injury to tomato. *Biocontrol* 54. 237-246.
- Carey, J.R., 1993. *Applied Demography for Biologists with Special Emphasis on Insects*. Oxford University Press, Oxford, UK.
- Castañe, C., Iriarte, J., Lucas, E., 2002. Comparison of prey consumption by *Dicyphus tamaninii* reared conventionally, and on a meta-based diet. *Biocontrol* 47. 657-666.
- Collier, T., van Steenwyk, R., 2004. A critical evaluation of augmentative biological control. *Biological Control* 31. 245-256.
- Crowder, D.W., 2007. Impact of release rates on the effectiveness of augmentative biological control agents. *Journal of Insect Science* 7(15). 1-11.
- DeBach, P., 1964. *Biological control of insect pests and weeds*. Chapman & Hall. New York, USA. 844 pp.

- DeBach, P., Rosen, D., 1991. Biological control by natural enemies. Cambridge University Press. Cambridge, U.K. 440 pp.
- Elbert, A., Nauen, R., 2000. Resistance of *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae) to insecticides in Southern Spain with special reference to neonicotinoids. Pest Management Science 56. 60-64.
- Fernández, E., Gravalos, C., Haro, P.J., Cifuentes, D., Bielza, P., 2009. Insecticide resistance status of *Bemisia tabaci* Q-biotype in South-Eastern Spain. Pest. Management Science 65. 885-891.
- Foltyn, S., Gerling, D., 1985. The parasitoids of the aleyrodid *Bemisia tabaci* in Israel: Development, host preference and discrimination of the aphelinid wasp *Eretmocerus mundus*. Entomologia Experimentalis et Applicata 38. 255-260.
- Gerling, D., Alomar, O., Arnó, J., 2001. Biological control of *Bemisia tabaci* using predators and parasitoids. Crop Protection 20. 779-799.
- Goula, M., 1985. *Cyrtopeltis* (*Nesidiocoris*) *tenuis* Reuter (Heteroptera: Miridae), nueva cita para la Península Ibérica. Boletim da Sociedade Portuguesa de Entomologia 1. 93-102.
- Heinz, K.M., van Driesche, R.G., Parella, M.P., 2004. Biocontrol in protected culture. Ball Publishing. Batavias, Illinois. 552 pp.
- Hoda, F.M., El-Naggar, M.E., Taha, A.H., Ibrahim, G.A., 1986. Effect of different types of food on fecundity of predaceous mite *Amblyseius swirskii* Athias-Henriot (Acari: Phytoseiidae). Bulletin de la Société d'Entomologie d'Egypte 66. 113-116.
- Horowitz, A.R., Konstsedalov, S., Denholm, I., Ishaaya, I., 2002. Dynamics of insecticide resistance in *Bemisia tabaci*: a case of study with the insect growth regulator pyriproxyfen. Pest Management Science 58. 1096-1100.
- Huffaker, C.B., Messenger, P.S., 1976. Theory and practice of biological control. Academic Press. London, UK. 788 pp.
- Lucas, E., Alomar, O., 2002. Impact of *Macrolophus caliginosus* presence on damage production by *Dicyphus tamaninii* (Heteroptera: Miridae) on tomato fruits. Journal of Economic Entomology 95. 1123-1129.

- Madadi., H., Enkegaard, A., Brødsgaard, H.F., Kharrazi-Pakdel, A., Ashouri, A., Mohaghegh-Neishabouri, J., 2008. *Orius albidipennis* (Heteroptera: Anthoridae): Intraguild predation and prey preference for *Neoseiulus cucumeris* (Acari: Phytoseiidae) on different host plant. *Entomologica Fennica* 19. 1-9.
- MARM, 2009. Registro de Productos Fitosanitarios. Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación. www.mapa.es/es/agricultura/pags/fitos/registro/menu.asp. Fecha de consulta Abril 2005.
- Messelink, G.J., van Steenpaal, S.E.F., Ramakers, P.M.J., 2006. Evaluation of phytoseiid predators for control of western flower thrips on greenhouse cucumber. *BioControl* 51. 753-768.
- Messelink, G.J., van Maanen, R., van Steenpaal, S.E.F., Janssen, A., 2008. Biological control of thrips and whiteflies by a shared predator: Two pests are better than one. *Biological Control* 44. 372-379.
- Momen, F.M., El-Saway, S.A., 1993. Biology and feeding behaviour of the predatory mite *Amblyseius swirskii* (Acari: Phytoseiidae). *Acarologia* 34(3). 199-204.
- Monserat, A., Lacasa, A., Vicente, F., 1998. Normas técnicas de producción integrada en pimiento de invernadero. Orden de 10 de Junio de 1998. BORM 138 del 18-06-1998.
- Nauen, R., Denholm, I., 2005. Resistance of insect pests to neonicotinoid insecticides: Current status and future prospects. *Archives of Insect biochemistry and Physiology* 58. 200-215.
- Nomikou, M., Janssen, A., Schraag, R., Sabelis, M.W., 2001. Phytoseiid predators as potential biological control agents for *Bemisia tabaci*. *Experimental and Applied Acarology* 25. 271-291.
- Nomikou, M., Janssen, A., Schraag, R., Sabelis, M.W., 2002. Phytoseiid predators suppress population of *Bemisia tabaci* in the presence of alternative food. *Experimental and Applied Acarology* 27. 57-68.
- Nomikou, M., Janssen, A., Schraag, R., Sabelis, M.W., 2003. Phytoseiid predators of whiteflies feed and reproduce on non-prey food sources. *Experimental and Applied Acarology* 31. 15-26.

- Nomikou, M., Janssen, A., Schraag, R., Sabelis, M.W., 2004. Vulnerability of *Bemisia tabaci* immatures to phytoseiid predators: Consequences for oviposition and influence of alternative food. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 110. 95-102.
- Palumbo, J.C., Horowitz, A.R., Prabhaker, N., 2001. Insecticidal control and resistance management for *Bemisia tabaci*. *Crop Protection* 20. 739-765.
- Ragusa, S., Swirski, E., 1975. Feeding habits, development and oviposition of the predacious mite *Amblyseius swirskii* Athias-Henriot (Acarina: Phytoseiidae) on pollen of various weeds. *Israel Journal of Entomology* 10. 93-103.
- Ruppel, R.F., 1983. Cumulative insect-days as an index of crop protection. *Journal of Economic Entomology* 76. 375-377.
- Sánchez, J.A., Lacasa, A., 2008. Impact of the zoophytophagous plant bug *Nesidiocoris tenuis* (Heteroptera: Miridae) on tomato yield. *Journal of Economical Entomology* 101. 1864-1870.
- Sánchez, J.A., Lacasa, A., Arnó, J., Castañé, C., Alomar, O., 2009. Life history parameters for *Nesidiocoris tenuis* Reuter (Het., Miridae) under different temperatures regimes. *Journal of Applied Entomology* 133. 125-132.
- Stansly, P.A., Calvo, F.J., Urbaneja, A., 2005a. Augmentative biological control of *Bemisia tabaci* biotype Q^+ in Spanish greenhouse pepper production using *Eretmocerus* spp. *Crop Protection* 24. 829-835.
- Stansly, P.A., Calvo, J., Urbaneja, A., 2005b. Release rates for control of *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae) biotype Q^+ with *Eretmocerus mundus* (Hymenoptera: Aphelinidae) in greenhouse tomato and pepper. *Biological Control* 35. 124-133.
- Stiling, P., Cornelissen, T., 2005. What makes a successful biological control agent? A meta-analysis of biological control agent performance. *Biological Control* 34. 236-246.
- Straub, C.S., Finke, D.L., Snyder, W.E., 2008. Are the conservation of natural enemy biodiversity and biological control compatible goals?. *Biological Control* 45. 225-237.

- Swirski, E., Amitai, S., Dorzia, N., 1967. Laboratory studies on the feeding, development and reproduction of the predaceous mites *Amblyseius rubini* Swirskii and Amitai and *Amblyseius swirskii* Athias-Henriot (Acarina: Phytoseiidae) on various kinds of food substances. Israel Journal of Agricultural Research 17(2). 101-118.
- Urbaneja, A., Stansly, P.A., 2004. Host suitability of different instars of the whitefly *Bemisia tabaci* biotype Q+for *Eretmocerus mundus*. Biocontrol 49. 153-161.
- Urbaneja, A., Stansly, P.A., Calvo, J., Beltrán, D., Lara, L., van der Blom, J., 2003. *Eretmocerus mundus*: control biológico de *Bemisia tabaci*. Phytoma España 144. 139-142.
- Urbaneja, A., Tapia, G., Stansly, P.A., 2005. Influence of host plant and prey availability on developmental time and survival of *Nesidiocoris tenuis* Reuter (Het.: Miridae). Biocontrol Science & Technology 15: 513-518.
- Van der Blom, J., 2008. Pimiento bajo abrigo. En: Control Biológico de Plagas agrícolas. Ed. Jacas J.A., Urbaneja A. Phytoma España. Valencia (España). 496 pp.
- Van Driesche, R.D., Bellows, T.S., 1996. Biological Control. Chapman & Hall, New York, USA. 539 pp.
- Van Driesche, R.G., Hoddle, M.S., Roy, S., Lyon, S., Sanderson, J.P., 2000. Compatibility of insect growth regulators with *Eretmocerus eremicus* (Hymenoptera: Aphelinidae) control on poinsettias. Trials in commercial poinsettia crops. Biological Control 20. 132-146.
- Van Houten, Y.M., Ostlie, M.L., Hoogerbrugge, H., Bolckmans, K., 2005. Biological control of western flower thrips on sweet pepper using the predatory mites *Amblyseius cucumeris*, *Iphiseius degenerans*, *A. andersoni* and *A. swirskii*. IOBC/wprs Bulletin 28(1). 283-286.
- Van Lenteren, J.C., 2002. Success in Biological Control of Arthropods by Augmentation of Natural Enemies. En Biological Control: Measures of Success. Editado por Guff, G., Wratten, S.D. Springer Press. Berlin, Germany. 77-104.
- Vogt, H., 1994. Side-effects of Pesticides on Beneficial Organism: Comparison of Laboratory, Semi-field and Field Results. IOBC/wprs Bulletin 17(10).

Capítulo 4

Utilización de *Amblyseius swirskii* Athias-Henriot (Acari: Phytoseiidae) en invernaderos comerciales de pimiento. Implicaciones para el control biológico en el cultivo



4.1. Introducción

El pimiento es uno de los cultivos hortícolas más importantes en España, localizándose las principales zonas productoras en el Sureste de la Península Ibérica. Una de éstas es el Campo de Cartagena (CCt), que se encuentra en la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia. Aquí se destinan anualmente al cultivo de pimiento unas 1800 ha de invernadero. En la Provincia de Almería se encuentra la otra área productora más importante, y en ella se cultivan al año unas 7000 ha de pimiento en invernadero (Fig. 4.1).



Figura 4.1. Imagen por satélite de la zona productora del Poniente de Almería (A) y Campo de Cartagena (B). Puede comprobarse la diferencia en la densidad de la superficie invernada entre ambas zonas.

En ambas áreas productoras la mosca blanca *Bemisia tabaci* Genn. (Hemiptera: Aleyrodidae) es una de las plagas clave en pimiento. Este fitófago succiona savia de la planta y excreta melaza que se deposita sobre la hoja y los frutos y sirve como medio de crecimiento para la negrilla, provocando así el debilitamiento de la planta y daños estéticos en los frutos. El trips *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae) es la otra plaga clave que afecta al pimiento. Esta especie plaga provoca daños directos debido a sus picaduras de puesta y alimentación, si bien destaca por sus características como vector del virus del bronceado del tomate o Tomato Spotted Wilt Virus (TSWV) (Lacasa y Contreras 1993).

El control químico de estas especies plaga se está complicando paulatinamente debido a la disminución del número de formulados que pueden ser empleados. Entre las causas de dicha disminución encontramos la generación de resistencias por parte de las plagas (Espinosa *et al.* 2002, Nauen y Denholm 2005; Bielza 2008; Fernández *et al.* 2009) y las restricciones impuestas por normativas gubernamentales y por las cadenas alimenticias tanto a la presencia de residuos en los frutos como al uso de ciertos formulados (CEE 1991; MARM 2009). Así pues, la reducción de medidas de control químico hace necesario desarrollar nuevas herramientas o técnicas más sostenibles y compatibles con el medio ambiente y que cumplan con los requerimientos impuestos por los mercados y administraciones públicas. En este sentido los programas de Manejo Integrado de Plagas (MIP) en los que se combinan agentes de control químico, biológico y otras técnicas de control, permiten disminuir el número de aplicaciones de plaguicidas necesarias, lo que ayudaría a dar respuesta a la problemática citada anteriormente. Además, en algunos casos se ha demostrado que las plagas pueden ser totalmente controladas empleando únicamente agentes de control biológico (van Lenteren 2002; Collier y van Steenwyk, 2004; Stiling y Cornelissen 2005), lo que incrementa aún más la salubridad para el medio ambiente, productores y consumidores.

Los programas MIP basados en el empleo de agentes de control biológico para pimiento estaban basados, previamente a la realización del presente trabajo, en la introducción del parasitoide *Eretmocerus mundus* Mercet (Hymenoptera: Aphelinidae) frente a *B. tabaci* y de *Neoseiulus cucumeris* Oudemans (Acar: Phytoseiidae) y *Orius laevigatus* Fieber (Hemiptera: Anthocoridae) frente a trips. Sin embargo el éxito de esta estrategia de control ha sido muy diferente en las dos principales áreas productoras de pimiento. Así pues, mientras en 2002 en CCt ya se liberaban organismos de control biológico en un 80% de la superficie, en Almería este porcentaje sólo alcanzaba el 5% en 2005 (van der Blom 2008).

El ciclo de cultivo de pimiento en CCt se inicia a final de otoño, siendo la presión de las diversas plagas baja en ese momento. Aquí, los enemigos naturales suelen introducirse a mediados de invierno, momento en el que en el interior de los invernaderos suelen darse unas condiciones ambientales favorables para su desarrollo. Además, con tiempo suficiente para establecerse en el cultivo antes de primavera, cuando las poblaciones de mosca blanca y trips suelen ser más elevadas. Por el contrario, en Almería el ciclo de cultivo se inicia entre los meses de junio y agosto. Durante este periodo la presión de mosca blanca y trips suele ser muy

elevada. Esto se debe a las condiciones ambientales óptimas para su desarrollo, la sucesión de cultivos hospedadores a lo largo de todo el año y a la elevada concentración de invernaderos (Fig. 4.1.). Esto propicia elevadas inmigraciones hacia el interior de los invernaderos. Así pues, en CCt el uso de la estrategia MIP antes señalada, junto a la aplicación en caso necesario de algunos insecticidas son suficientes para mantener bajo control a *B. tabaci* y *F. occidentalis*. Sin embargo, en Almería el control biológico de *B. tabaci* mediante el uso de *E. mundus* no resulta suficiente, requiriendo de forma muy frecuente el uso de agentes de control químico para poder mantener bajo control al fitófago (Fig. 4.2). Estas aplicaciones afectan al conjunto de los enemigos naturales introducidos y en especial al propio *E. mundus* y a *O. laevigatus*, por lo que los agricultores tienen en muchos casos que abandonar finalmente el uso de enemigos naturales y completar el ciclo de cultivo empleando plaguicidas químicos.



Figura 4.2. Plantas de pimiento fuertemente atacadas por *Bemisia tabaci* en un invernadero de Almería.

Por otro lado, el ácaro depredador *Amblyseius swirskii* Athias-Henriot (Acari: Phytoseiidae) ha sido recientemente mostrado como un enemigo natural eficaz de *B. tabaci* y *F. occidentalis*. Nomikou *et al.* (2001) y Messelink *et al.* (2008) observaron cómo este depredador era capaz de reducir de forma significativa una población de mosca blanca sobre pepino en laboratorio y semicampo, respectivamente. Calvo *et al.* (2009) demostraron además que el uso de *A. swirskii* junto con *E. mundus* incrementaba de forma significativa la eficacia frente a *B. tabaci* frente al uso aislado

del parasitoide. También Stansly y Castillo (2009) demostraron que *A. swirskii* es eficaz en el control de *B. tabaci* y *Polyphagotarsonemus latus* Banks (Acari: Tarsonemidae) en cultivos al aire libre de berenjena y pimiento. Por otro lado, Belda y Calvo (2006) y Weintraub *et al.* (2011) observaron que la población de trips se redujo de forma significativa en pimiento en semicampo y en invernaderos comerciales, respectivamente, cuando se introdujo *A. swirskii*. Finalmente, se ha demostrado que *A. swirskii* es más eficaz que *N. cucumeris* frente a trips (van Houten *et al.* 2005; Messelink *et al.* 2006) y más resistente que este último a condiciones de baja humedad relativa (Ferrero *et al.* 2010).

Todos estos resultados motivan la puesta en marcha del presente trabajo cuyo objetivo fue estudiar las implicaciones de *A. swirskii* en el control de *B. tabaci* y *F. occidentalis* en invernaderos comerciales de pimiento. Todo ello para corroborar en condiciones de reales de cultivo los resultados de los ensayos previos y determinar la posible mejora que podría suponer para los programas MIP basados en el uso de enemigos naturales la incorporación de *A. swirskii*. Para ello se realizaron ensayos directamente en invernaderos comerciales de pimiento pertenecientes a las dos principales áreas productoras de España.

4.2. Material y Métodos

4.2.1. Diseño Experimental

Para la ejecución del experimento se seleccionaron un total de 8 invernaderos en CCt y 4 en Almería. Los invernaderos de Almería fueron divididos en dos subsectores. En ambas zonas, cada invernadero o subsector fue considerado como una unidad experimental dentro de un diseño de bloques completos al azar de 4 repeticiones de 2 tratamientos (Fig. 4.2). En CCt cada bloque (repetición) estaba compuesto por dos invernaderos contiguos pertenecientes a una misma finca y cada bloque estaba situado en una finca diferente. Por otro lado, en Almería cada bloque estaba compuesto por los dos subsectores de cada invernadero, estando cada invernadero en una finca diferente. Finalmente, en cada bloque, cada invernadero o subsector fue asignado al azar a cada uno de los dos tratamientos comparados: MIP estándar (Control) o MIP + *A. swirskii* (*A. swirskii*). A partir de ahora, invernadero o subsector será señalado indistintamente como unidad experimental.

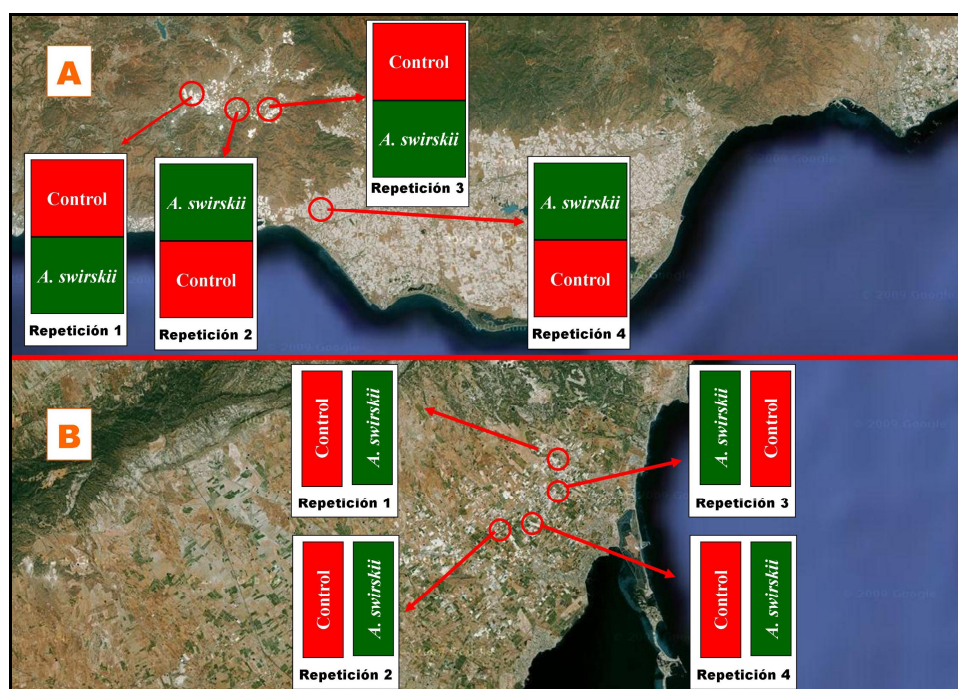


Figura 4.3. Diseño Experimental. Se muestra la localización aproximada en la imagen por satélite de cada una de las repeticiones (bloques) en Almería (A) y Campo de Cartagena (B). En Almería cada repetición estaba compuesta por un invernadero subdividido en dos subsectores y en Campo de Cartagena por dos invernaderos contiguos.

Tabla 4.1. Localización, número de repetición, código y tratamiento asignado a cada uno de los invernaderos o subsectores (parcelas experimentales) y características de cada uno de estos.

Localización	Invernadero	Repetición	Código	Tratamiento	Superficie (m ²)	Fecha de trasplante	Variedad	Calefacción
CCt	1	1	GR1	<i>A. swirskii</i>	5500	09/12/06	Cierva	Si
	2		GR2	Control	5500			
	3	2	GR3	<i>A. swirskii</i>	8500	17/12/06	Herminio	Si
	4		GR4	Control	8500			
	5	3	GR5	<i>A. swirskii</i>	2500	22/12/06	Herminio	No
	6		GR6	Control	2000			
	7	4	GR7	<i>A. swirskii</i>	1500	10/12/06	Orlando	No
	8		GR8	Control	1500			
Almería	1	1	PL1	<i>A. swirskii</i>	1500	15/06/06	Melchor	No
			PL2	Control	1500			
	2	2	PL3	<i>A. swirskii</i>	3000	15/06/06	Melchor	No
			PL4	Control	3000			
	3	3	PL5	<i>A. swirskii</i>	2500	17/06/06	Melchor	No
			PL6	Control	2500			
	4	4	PL7	<i>A. swirskii</i>	2000	17/06/06	Godzilla	No
			PL8	Control	2000			

Las unidades experimentales pertenecientes a un mismo bloque tenían las mismas características (fecha de trasplante, variedad, estructura, orientación, agricultor, técnico asesor, etc.; Tabla 4.1) para asegurar al máximo dentro de un mismo bloque la igualdad en cuanto al grado de incidencia de plagas y efecto de factores externos.

4.2.2. Utilización de enemigos naturales y plaguicidas

En las parcelas experimentales pertenecientes al tratamiento control se siguió la estrategia MIP estándar para pimiento en la que se introducía *E. mundus* frente a mosca blanca, *N. cucumeris* y *O. laevigatus* frente a trips y se permitía el uso de plaguicidas frente a las diferentes plagas en caso de desequilibrio. La dosis y frecuencia de las introducciones de estos enemigos naturales, así como la aplicación de plaguicidas se realizó de acuerdo al criterio de los asesores técnicos responsables de cada una de las explotaciones y de los agricultores propietarios de las mismas, quienes en último término se reservaron el derecho a decidir sobre la idoneidad o no de los tratamientos o introducciones propuestas.

En las parcelas experimentales del tratamiento *A. swirskii* se siguió la estrategia MIP anterior, pero introduciendo este depredador en lugar de *N. cucumeris*, salvo en las parcelas experimentales INV1 y INV3 de CCt. Idealmente no se debería haber empleado *N. cucumeris* en estas parcelas experimentales. Sin embargo, el desconocimiento del comportamiento y eficacia de *A. swirskii* en condiciones de campo antes de la ejecución del presente trabajo y dado el elevado valor económico de los cultivos, hizo que alguno de los agricultores obligara a introducir *N. cucumeris* como requisito para poder llevar a cabo el experimento. Sin embargo en Almería, de acuerdo a los resultados en CCt, *N. cucumeris* no fue introducido en ninguna de las parcelas experimentales pertenecientes al tratamiento *A. swirskii*. El momento y dosis de suelta de *A. swirskii* se fijó a partir de los resultados obtenidos en ensayos previos (Calvo *et al.* 2009). En las tablas 4.3 y 4.4 se muestran las introducciones y aplicaciones de plaguicidas realizadas en las parcelas experimentales de CCt y Almería, respectivamente.

Eretmocerus mundus fue obtenido a partir del producto comercial BemiparTM (Koppert Biological Systems, Águilas (Murcia), España), cuyo formato es una botella de 100 mL que contiene 3000 pupas del parasitoide. Este se distribuyó en el cultivo empleando cajas de cartón *Q-Box*^{TM+} (Koppert Biological Systems, Berkel en Rodenrijs, Países Bajos) especialmente desarrolladas para ello (Fig. 4.4). En cada una de estas cajas se

depositó 1/20 parte del contenido de una botella, aproximadamente 150 pupas por caja.

El antocórido *O. laevigatus* se obtuvo del producto comercial THRIPOR™ (Koppert Biological Systems, Berkel en Rodenrijs, Países Bajos), que consiste en un bote de 100 mL que contiene 500 adultos del depredador. Su distribución en el cultivo se realizó empleando también cajas de cartón “D-Box™” (Fig. 4.4), depositando el contenido de cada botella en 10 de estas cajas.

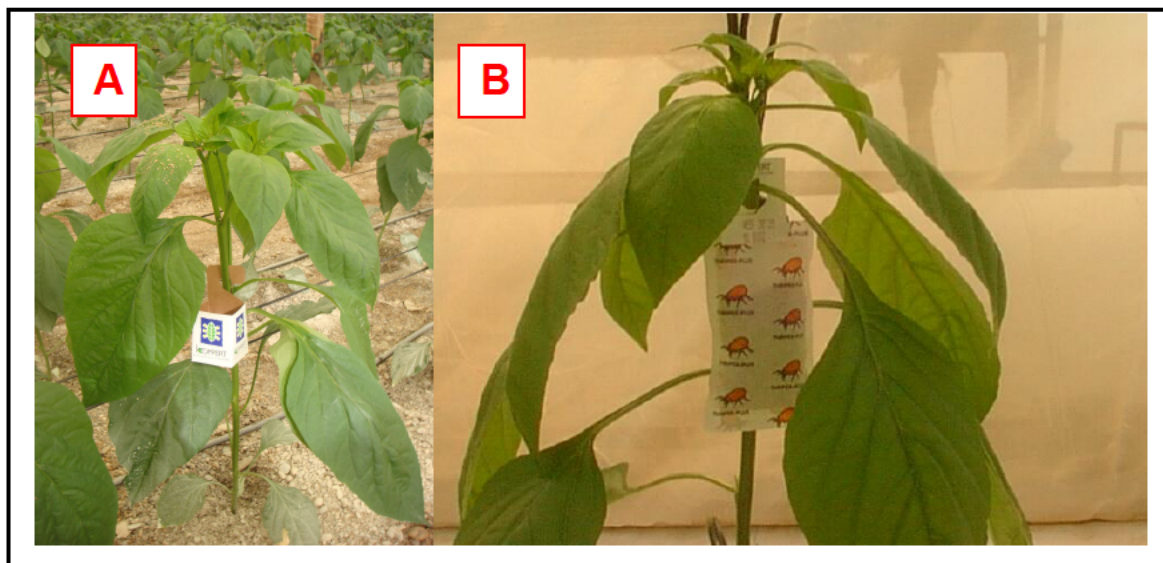


Figura 4.4. Modos de introducción de *Orius laevigatus* mediante la utilización de cajas “D-Box” (A) y de *Neoseiulus cucumeris* utilizando el producto comercial THRIPEX-PLUS (B).



Figura 4.5. Distribución de *Amblyseius swirskii* en el cultivo. El material contenido en la botella de 1 L se vierte sobre la parte superior de la planta formando así pequeños puntos de suelta. En el detalle superior izquierdo puede observarse uno de estos puntos.

El fitoseido *N. cucumeris* procedía del producto comercial THRIPEX-PLUS™ (Koppert Biological Systems, Berkel en Rodenrijs, Países Bajos), producto que contiene 500 sobres en cuyo interior hay 1000 ácaros mezclados con salvado y que pueden ser colgados de las plantas mediante un gancho del que vienen provistos (Fig. 4.4).

Amblyseius swirskii fue suministrado para el ensayo en botellas de 1L que contenían 12500 ácaros mezclados con salvado. Los fitoseidos se liberaron formando puntos de suelta (Fig. 4.5) que eran distribuidos de forma uniforme por el invernadero y en los que el material contenido en los botes se depositaba directamente sobre las plantas.

Durante el experimento fue necesario realizar en las parcelas experimentales del tratamiento control aplicaciones de jabón potásico (Agrosoap™; Koppert Biological Systems, Berkel en Rodenrijs, Países Bajos), piriproxifén 10% w/v EC (Atominal™; Massó Agro, Barcelona, España), piridabén 10% WP (Sanmite™; BASF, Berlin, Alemania) y pimetrocina (Plenum 25 WP™; Syngenta, Berlin, Alemania) (Tabla 4.3 y 4.4). El impacto de estos formulados sobre las poblaciones de los enemigos naturales introducidos (PII) se evaluó a partir de los datos ofrecidos por la Guía de Efectos Secundarios de Koppert Biological Systems (Anónimo, 2009; Tabla 4.2) y del número de aplicaciones realizadas de cada uno de ellos (Tabla 4.4 y 4.4) (Stansly *et al.* 2004).

Tabla 4.2. Impacto estimado sobre las poblaciones de los enemigos naturales de cada uno de los insecticidas aplicados para el control de *B. tabaci*. El impacto sobre cada uno de los estados de desarrollo se expresa como (1) Inocuo (Reducción en la capacidad de control <25%), (2) ligeramente dañino (26-50 % de reducción de la capacidad de control), (3) Moderadamente dañino (51-75 % de reducción de la capacidad de control), (4) muy dañino (>75 % de reducción de la capacidad de control).

Enemigo Natural	Estado	Jabón	Pimetrocina	Piridaben	Piriproxifen
<i>Neoseiulus cucumeris</i>	Huevo	2	1		
	Ninfa	4	1	4	1
	Adulto	4	1	4	1
	Persistencia	0	0	0	0
<i>Eretmocerus mundus</i>	Pupa			4	3
	Adulto	4	2	3	2
	Persistencia		1	1	
<i>Orius laevigatus</i>	Ninfa				
	Adulto		2	4	1
	Persistencia		1		1

Tabla 4.3. Momento y dosis de suelta y coste total, expresado en "/m², de los diferentes agentes de control biológico y químico empleados frente a mosca blanca y trips en cada una de las parcelas experimentales de CCt. Nc: *Neoseilus cucumeris*; As: *Amblyseius swirskii*; Ol: *Orius laevigatus*; Em: *Eretmocerus mundus*.

PARCELAS EXPERIMENTALES								
Semana 2006	INV 1	INV 2	INV 3	INV 4	INV 5	INV 6	INV 7	INV 8
2	350 Nc/m ²	350 Nc/m ²	350 Nc/m ²	350 Nc/m ²		350 Nc/m ²		350 Nc/m ²
3	50 As/m ²		50 As/m ²		50 As/m ²		50 As/m ²	
4	0,5 Ol/m ²	0,5 Ol/m ²	0,5 Ol/m ²	0,5 Ol/m ²	1 Ol/m ²	1 Ol/m ²	0,5 Ol/m ²	0,5 Ol/m ²
5	0,5 Ol/m ²	0,5 Ol/m ²	0,5 Ol/m ²	0,5 Ol/m ²	1 Ol/m ²	1 Ol/m ²	0,5 Ol/m ²	0,5 Ol/m ²
8		0,5 Em/m ²				1 Em/m ²		
9	0,5 Em/m ²	0,5 Em/m ²		1 Em/m ²	0,5 Em/m ²		0,5 Em/m ²	1 Em/m ²
10	0,5 Em/m ²		0,5 Em/m ²			1 Em/m ²	0,5 Em/m ²	1 Em/m ²
11		1 Em/m ²		1 Em/m ²	1 Em/m ²	1 Em/m ²		1 Em/m ²
12	1 Em/m ²		1 Em/m ²	1 Em/m ²				
13						1,5 Em/m ²		1 Em/m ²
14		1 Em/m ²		1,5 Em/m ²		1,5 Em/m ²		1 Em/m ²
15		1 Em/m ²		1,5 Em/m ²	0,5 Ol/m ²	0,5 Ol/m ²		1 Em/m ²
16			0,7 Ol/m ²	0,7 Ol/m ²		1,5 Em/m ²		
18						Jabón Potásico (10 mL/L)		
19				Jabón Potásico (10 mL/L)		Jabón Potásico (10 mL/L)		
20		Jabón Potásico (10 mL/L) Piriproxifen (0,75 mL/L)		Jabón Potásico (10 mL/L) Piriproxifen (0,75 mL/L)		Jabón Potásico (10 mL/L) Piriproxifen (0,75 mL/L)		
21								Jabón Potásico (10 mL/L)
22		Jabón Potásico (10 mL/L)		Jabón Potásico (10 mL/L)		Jabón Potásico (10 mL/L)		Jabón Potásico (10 mL/L)
23		Jabón Potásico (10 mL/L)		Jabón Potásico (10 mL/L) Piriproxifen (0,75 mL/L)		Jabón Potásico (10 mL/L) Piriproxifen (0,75 mL/L)		Jabón Potásico (10 mL/L) Piriproxifen (0,75 mL/L)
24				Jabón Potásico (10 mL/L) Pimetrocina (1 mL/L)		Jabón Potásico (10 mL/L) Pimetrocina (1 mL/L)		
25		Jabón Potásico (10 mL/L) Piriproxifen (0,75 mL/L)		Jabón Potásico (10 mL/L) Piriproxifen (0,75 mL/L)				Jabón Potásico (10 mL/L) Piriproxifen (0,75 mL/L)
26						Jabón Potásico (10 mL/L)		Jabón Potásico (10 mL/L)
27						Jabón Potásico (10 mL/L) Pimetrocina (1 mL/L)		
28				Jabón Potásico (10 mL/L) Pimetrocina (1 mL/L)		Jabón Potásico (10 mL/L) Piriproxifen (0,75 mL/L)		Jabón Potásico (10 mL/L) Piriproxifen (0,75 mL/L)
Coste "/m ²	0,20	0,21	0,24	0,31	0,25	0,36	0,15	0,23

Tabla 4.4. Momento y dosis de suelta y coste total, expresado en "/m², de los diferentes agentes de control biológico y químico empleados frente a mosca blanca y trips en cada una de las parcelas experimentales de Almería. Nc: *Neoseilus cucumeris*; As: *Amblyseius swirskii*; Ol: *Orius laevigatus*; Em: *Eretmocerus mundus*.

PARCELAS EXPERIMENTALES								
Semana 2006	PL 1	PL 2	PL 3	PL 4	PL 5	PL 6	PL 7	PL 8
24	75 As/m ² 1 Em/m ²	500 Nc/m ² 3 Em/m ²	75 As/m ² 1 Em/m ²	500 Nc/m ² 3 Em/m ²	75 As/m ² 1,5 Em/m ²	500 Nc/m ² 3 Em/m ²	75 As/m ² 0,75 Em/m ²	500 Nc/m ² 3 Em/m ²
25	1,5 Ol/m ² 1 Em/m ²	1,5 Ol/m ² 3 Em/m ²	2 Ol/m ² 1 Em/m ²	1,5 Ol/m ² 4,5 Em/m ²	1,6 Ol/m ²	1,6 Ol/m ² 3 Em/m ²	1,5 Ol/m ² 0,5 Em/m ²	1,5 Ol/m ² 3 Em/m ²
26	1,5 Ol/m ²	1,5 Ol/m ² 3 Em/m ²	1,5 Ol/m ²	1,5 Ol/m ² 4,5 Em/m ²	1,6 Ol/m ²	1,6 Ol/m ² 3 Em/m ²	1,5 Ol/m ²	1,5 Ol/m ² 3 Em/m ²
27	1,5 Ol/m ²	1,5 Ol/m ² 3 Em/m ²	1,5 Ol/m ²	350 Nc/m ² 4,5 Em/m ²	1,6 Ol/m ²	1,6 Ol/m ² 3 Em/m ²	1,5 Ol/m ²	1,5 Ol/m ² 3 Em/m ²
28		4,5 Em/m ² 350 Nc/m ²		3 Em/m ²		3 Em/m ²		3 Em/m ² 350 Nc/m ²
29		4,5 Em/m ²		2 Em/m ²		3 Em/m ²		3 Em/m ²
30		4,5 Em/m ²				3 Em/m ²		4,5 Em/m ²
31								
32		4 Em/m ²		Jabón Potásico (10 mL/L)				Jabón Potásico (10 mL/L) Piriproxifen (0,75 mL/L)
33		Jabón Potásico (10 mL/L) Piriproxifen (0,75 mL/L)		Jabón Potásico (10 mL/L) Piriproxifen (0,75 mL/L)		Jabón Potásico (10 mL/L) Piriproxifen (0,75 mL/L)		Jabón Potásico (10 mL/L) Piriproxifen (0,75 mL/L)
34		Piridaben (1mL/L)		Piridaben (1mL/L)		Piridaben (1mL/L)		Piridaben (1mL/L)
35		Jabón Potásico (10 mL/L) Piriproxifen (0,75 mL/L)		Jabón Potásico (10 mL/L) Piriproxifen (0,75 mL/L)		Jabón Potásico (10 mL/L) Pimetrocina (1 mL/L)		Pimetrocina (1 mL/L)
36		Jabón Potásico (10 mL/L) Pimetrocina (1 mL/L)		Piridaben (1mL/L)				Jabón Potásico (10 mL/L) Piriproxifen (0,75 mL/L)
37		Jabón Potásico (10 mL/L) Piriproxifen (0,75 mL/L)		Jabón Potásico (10 mL/L) Piriproxifen (0,75 mL/L)		Jabón Potásico (10 mL/L) Pimetrocina (1 mL/L)		Piridaben (1mL/L)
38		Piridaben (1mL/L)		Piridaben (1mL/L)		Jabón Potásico (10 mL/L) Piriproxifen (0,75 mL/L)		Jabón Potásico (10 mL/L) Piriproxifen (0,75 mL/L)
Coste "/m ²	0,41	0,77	0,44	0,76	0,42	0,73	0,41	0,73

4.2.3. Muestreo

La incidencia natural de mosca blanca y trips se evaluó durante las primeras ocho semanas tras el inicio del experimento mediante el recuento de las capturas de adultos en ocho trampas adhesivas de color amarillo (mosca blanca) y ocho azules (trips) de 0,25 x 0,1 m (HORIVER y HORIVER-TR, Koppert Biological Systems, Berkel en Rodenrijs, Países Bajos) en cada una de las parcelas experimentales. Las trampas se reemplazaron semanalmente y se colocaron a la altura de la parte superior del cultivo.

Para la evaluación en el cultivo de las poblaciones de mosca blanca, trips, *O. laevigatus* y ácaros fitoseidos se realizaron un total de 27 y 15 muestreos semanales en CCt y Almería, respectivamente. Estos se iniciaron justo después de la introducción de *A. swirskii*, el 19 de enero (semana 3, 2006) en CCt y el 7 de junio (semana 24, 2006) en Almería.

En cada una de las parcelas experimentales se seleccionaron al azar un total de 25 plantas, en cada una de las cuales se seleccionaron a su vez 3 hojas, una de su estrato superior, una del estrato medio y otra del estrato inferior. En cada una de éstas se contabilizaron el número de ninfas (N1-N4), pupas, pupas parasitas y adultos de *B. tabaci* y el número de formas móviles de fitoseidos, empleando para ello una lupa de campo de 15X. Al realizar el muestreo, las hojas se voltearon cuidadosamente para contabilizar en primer lugar los adultos de *B. tabaci* y posteriormente el resto de insectos o ácaros.

También, en cada una de las 25 plantas antes mencionadas, se contabilizaron el número de ninfas y adultos de *Orius* spp. y formas móviles de trips presentes en una flor.

Finalmente, en cada parcela experimental se recogieron hojas con fitoseidos. Estas fueron seleccionadas al azar a lo largo de toda su superficie y en todos los estratos de las plantas. Estas hojas fueron agrupadas y empaquetadas por parcela experimental y transportadas al laboratorio. Posteriormente, los ácaros presentes en las hojas fueron extraídos con un embudo de Berlese. Finalmente, fueron montados en portas e identificados bajo microscopio (400X). Un total de 439 y 421 y 159 y 104 ácaros fueron identificados de las parcelas experimentales de los tratamientos *A. swirskii* y control de CCt y Almería, respectivamente.

4.2.4. Análisis estadístico

La existencia de diferencias estadísticas entre los tratamientos en la población de mosca blanca, trips, *Orius* spp y ácaros fitoseidos, fue analizada mediante el empleo de modelos lineales mixtos, en los que cada semana de muestreo se consideró como un factor aleatorio anidado al factor aleatorio bloque con el fin de corregir el efecto debido a la realización de medidas repetidas (Crawley 2002).

El número de mosca blanca (ninfas más pupas y adultos), trips, *Orius* spp. y ácaros fitoseidos (formas móviles) fueron transformados para su análisis empleando la expresión $\log(x+1)$ para cumplir con los supuestos del análisis estadístico, sin embargo, tanto en las tablas como en las figuras se muestran los datos no transformados.

Se calculó también el grado de eficacia o reducción de la población de ninfas más pupas de mosca blanca en el tratamiento *A. swirskii* con respecto al control mediante el empleo de la expresión $100 \times [(1-(\text{tratado/control}))]$ (Abbott 1925).

4.3. Resultados

4.3.1. Mosca blanca

El número de adultos de mosca blanca capturadas en las parcelas de los dos tratamientos comparados en las trampas adhesivas amarillas que se colocaron al inicio del experimento no fue diferente ni en CCt (Control: $0,5 \pm 0,23$ adultos/semana; *A. swirskii*: $0,7 \pm 0,31$ adultos/semana; $F=0,739$; g.l.=1, 3; $P=0,186$) ni en Almería (Control: $66,1 \pm 8,39$ adultos/semana; *A. swirskii*: $62,8 \pm 6,45$ adultos/semana; $F=0,128$; g.l.=1, 3; $P=0,412$). Estos resultados indican que los tratamientos, dentro de cada zona de cultivo, estuvieron sometidos a una presión de mosca blanca similar.

En CCt el número de adultos de mosca blanca por hoja fue similar entre los dos tratamientos comparados hasta la semana 21 (Fig. 4.6 a). Posteriormente este valor fue siempre superior en el tratamiento donde no se liberó *A. swirskii*, encontrándose una cantidad superior de adultos de mosca blanca en el tratamiento control ($F=17,365$; g.l.= 1, 80; $P< 0,001$).

En Almería, el número de adultos de mosca blanca por hoja fue también semejante durante las primeras semanas del experimento en los dos tratamientos (Fig. 4.6 b). Sin embargo, a partir de la semana 30 el número de adultos de *B. tabaci* por hoja creció de forma constante en el tratamiento control, mientras que en el tratamiento *A. swirskii* la densidad poblacional de los adultos de mosca blanca permaneció constante hasta el final del experimento. De este modo la abundancia de adultos de mosca blanca fue mayor en el tratamiento control ($F=21,472$; g.l.= 1, 59, $P<0,001$).

La abundancia de ninfas más pupas de mosca blanca fue mayor en las parcelas del tratamiento control en CCt ($F=19,499$; g.l.= 1, 80; $P<0,001$). Sin embargo, hasta la semana 17 el número de ninfas más pupas de mosca blanca por hoja fue similar en las parcelas de los dos tratamientos comparados (Fig. 4.6 c). A partir de esta semana, dicho valor comenzó a descender progresivamente hasta el final del experimento en las parcelas donde se liberó *A. swirskii*. Por el contrario, en las parcelas control la densidad de mosca blanca por hoja continuó creciendo durante varias semanas, alcanzándose en algunas semanas un número de ninfas más pupas por hoja 20 veces superior al tratamiento con *A. swirskii*, lo que equivaldría a una reducción de hasta el 97,6 % de la población de ninfas más pupas.

En Almería, la abundancia de ninfas más pupas de mosca blanca fue igualmente superior en el tratamiento control ($F=30,528$; g.l.= 1, 59; $P<0,001$). Dichas diferencias se observaron ya desde el principio en el número de ninfas más pupas por hoja (Fig. 4.6 d). Mientras en el tratamiento control dicho valor creció de forma continuada durante todo el experimento, en las parcelas con introducción de *A. swirskii* el número de ninfas más pupas por hoja se mantuvo siempre en valores inferiores a uno por hoja. Estas diferencias se tradujeron en una reducción máxima del número de ninfas más pupas de mosca blanca por hoja en el tratamiento *A. swirskii* con respecto al control de hasta el 99,5 %.

4.3.2. Parasitismo

El porcentaje de parasitismo en CCt estuvo comprendido entre el $77,4 \pm 1,85\%$ (*A. swirskii*) y el $79,3 \pm 1,42\%$ (Control), sin que entre los tratamientos aparecieran diferencias significativas ($F=0,996$; g.l.= 1, 80; $P=0,318$). Sin embargo, en Almería el porcentaje de parasitismo en las parcelas donde se liberó *A. swirskii* ($15,6 \pm 3,30\%$) fue significativamente inferior al registrado en las parcelas control ($32,9 \pm 1,52\%$) ($F=12,149$; g.l.= 1, 59; $P=0,001$).

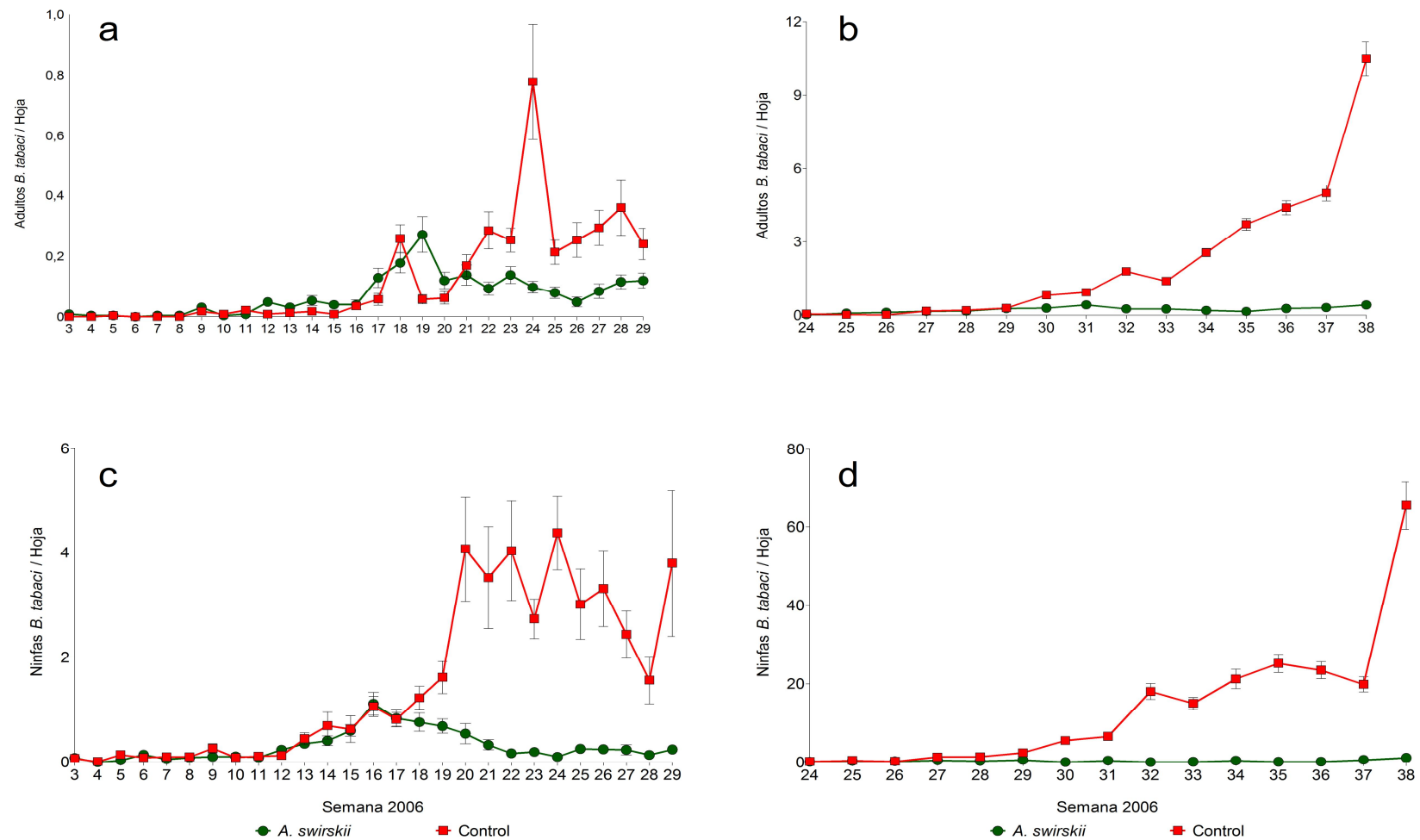


Figura 4.6. Evolución del número (Media \pm Error estándar) de adultos y ninfas más pupas de *Bemisia tabaci* por hoja en cada una de las semanas en el tratamiento *Amblyseius swirskii* y Control: Adultos *B. tabaci* en CCt (a) y Almería (b); Ninfas más pupas de *B. tabaci* en CCt (c) y Almería (d).

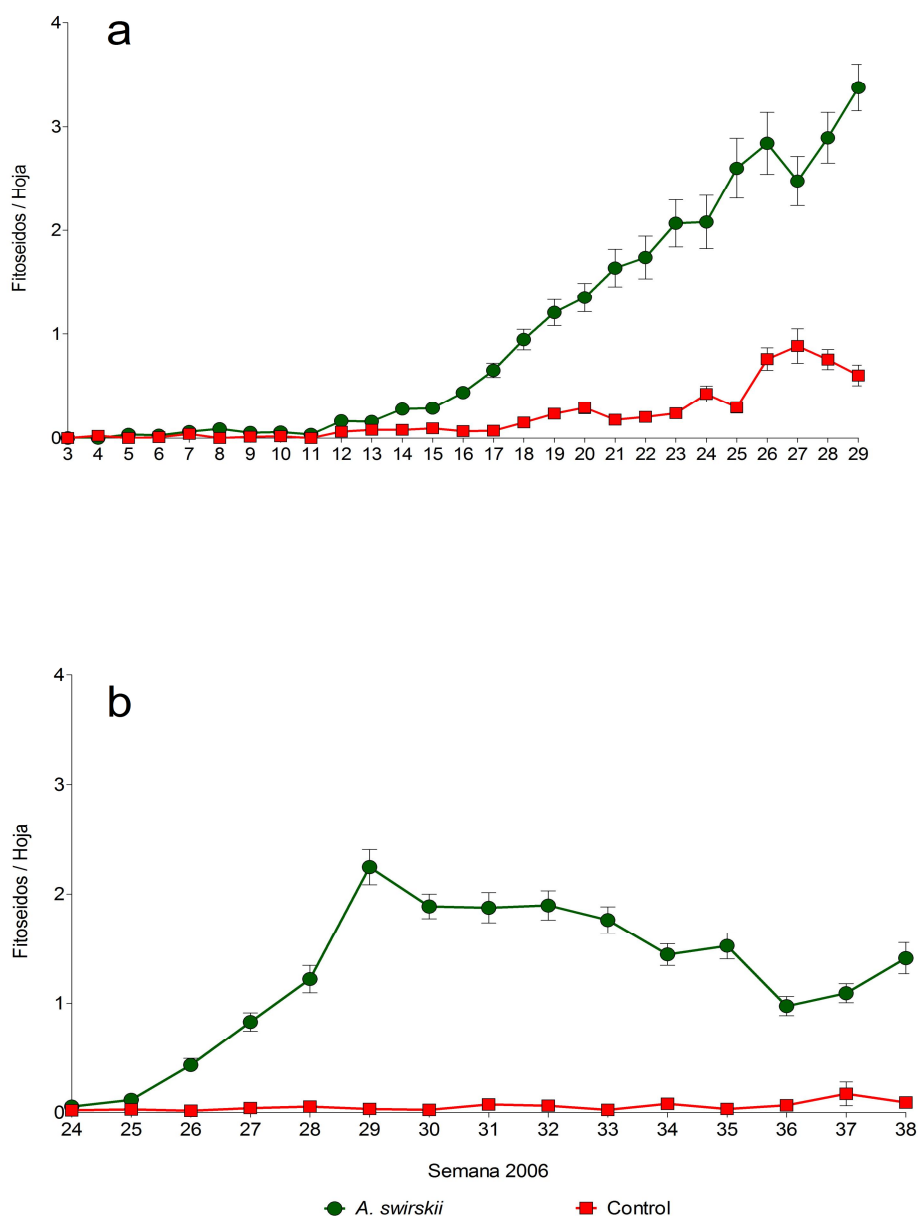


Figura 4.7. Número (Media \pm Error estándar) de formas móviles de fitoseidos por hoja en cada una de las semanas en el tratamiento *Amblyseius swirskii* y Control en CCt (a) y Almería (b).

4.3.3. Fitoseidos

La introducción de *A. swirskii* incrementó de forma significativa la abundancia de ácaros fitoseidos tanto en CCt como en Almería (CCt: $F=33,865$; g.l.= 1, 80; $P<0,001$; Almería: $F=150,206$; g.l.= 1,59; $P<0,001$). Sin embargo, en CCt el incremento del número de fitoseidos por hoja fue más tardío, registrándose en las parcelas de los dos tratamientos comparados un número semejante hasta la semana 11 (Fig. 4.7 a). Posteriormente, el número de fitoseidos por hoja se incrementó rápidamente en las

parcelas del tratamiento *A. swirskii*, donde dicho parámetro fue siempre mayor que el registrado en las parcelas del tratamiento control. En Almería, por el contrario, el número de ácaros por hoja se incrementó rápidamente tras la introducción de *A. swirskii*, alcanzando su máximo en la semana 29 (Fig. 4.7 b). En las parcelas del tratamiento control el número de fitoseidos por hoja siempre permaneció por debajo de 0,2 individuos por hoja, valor 14 veces inferior al máximo registrado en las parcelas donde se liberó *A. swirskii*.

En los invernaderos control de CCt *N. cucumeris*, con una abundancia relativa respecto del total de ácaros identificados del 58,5 %, fue la especie más abundante (Fig. 4.8 a). Su abundancia relativa mensual varió entre el 100 % en febrero hasta el 16% en julio. También se detectó la presencia de *A. swirskii* al final del experimento, alcanzando una abundancia relativa del 16% en julio. Finalmente, también se observaron las especies *Euseius stipulatus* (Athias-Henriot) (Acari: Phytoseiidae) (7,5%), *Phytoseiulus persimilis* (Athias-Henriot) (Acari: Phytoseiidae) (3,1%), *Neoseiulus californicus* McGregor) (Acari: Phytoseiidae) (6,3%) y *Neoseiulus barkeri* (Hughes) (Acari: Phytoseiidae) (1,9%), cuya abundancia relativa se muestra entre paréntesis. El análisis de la composición específica de la población de fitoseidos en CCt en los invernaderos con liberación de *A. swirskii* reveló que esta fue la especie más abundante. A ella pertenecieron el 89,3 % del total de fitoseidos identificados a partir de las muestras recogidas en estos invernaderos (Fig. 4.8 b). Su abundancia relativa mensual varió entre el 58,3 % en febrero y el 98,2 % en julio. *Neoseiulus cucumeris* (5,5%), *N. californicus* ((0,7%) y *P. persimilis* (Athias-Henriot) (Acari: Phytoseiidae) (0,7%), cuya abundancia relativa respecto al total de ácaros identificados se muestra entre paréntesis, también aparecieron en es estos invernaderos.

En Almería, en las parcelas control el 49,3 % de los fitoseidos identificados pertenecieron a la especie *N. barkeri*, siendo la más abundante (Fig. 4.9 c). Este porcentaje fue similar al observado para *N. cucumeris*, especie a la que pertenecieron el 45,3 % de los ácaros identificados. Otras especies identificadas fueron *N. californicus* y *P. persimilis*, cuya abundancia relativa fue del 2,7 %. Por otro lado, en las parcelas con introducción de *A. swirskii*, el 97,1 % de los fitoseidos identificados pertenecieron a esta especie, cuya abundancia relativa mensual máxima fue del 99,2 % en julio (Fig. 4.8 d). *Neoseiulus barkeri* (1.2%), *E. stipulatus* (0.6%) y *P. persimilis* (1.2%) también aparecieron en las muestras recogidas.

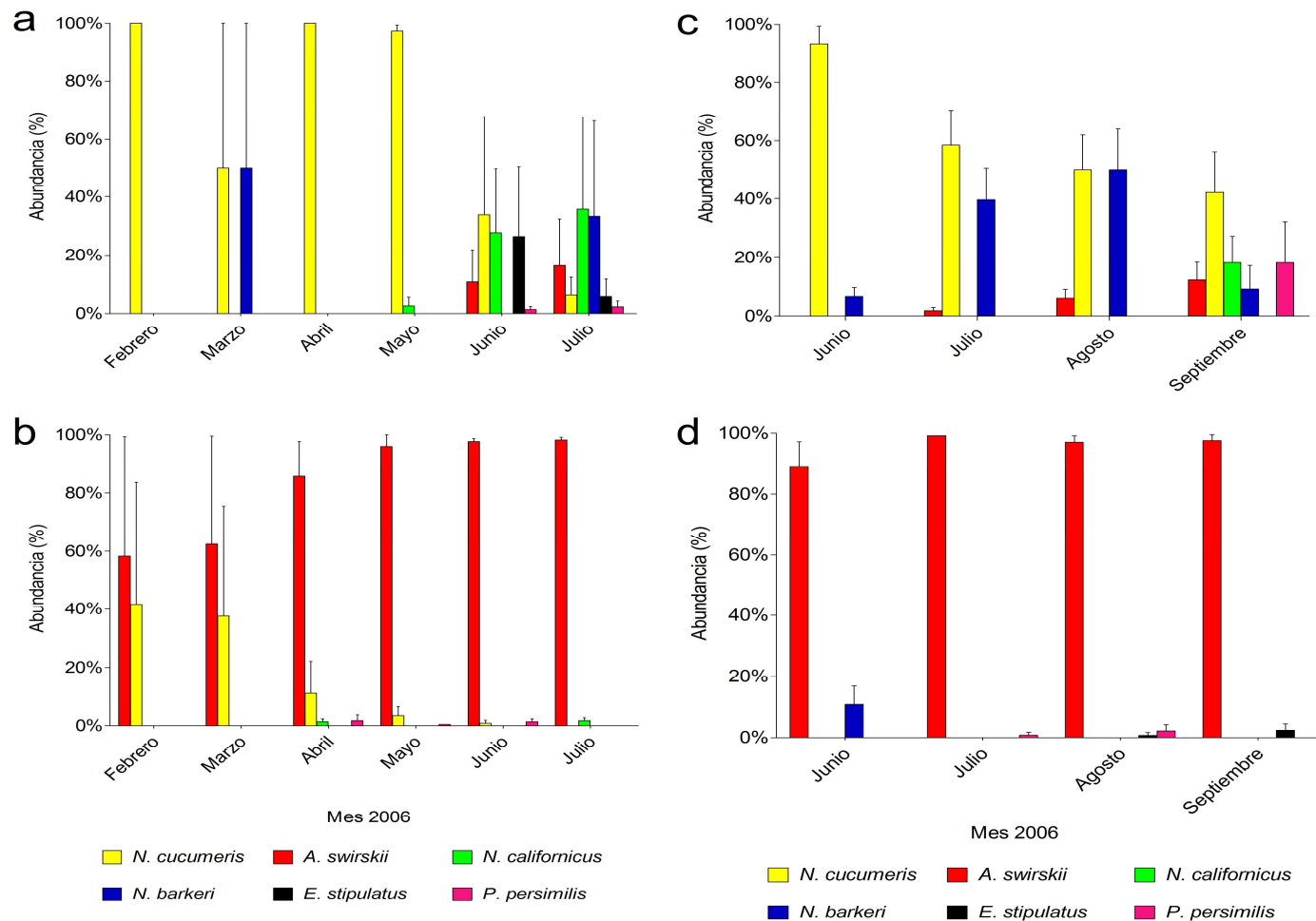


Figura 4.8. Abundancia relativa (Media \pm Error estándar) de cada una de las diferentes especies de ácaros fitoseidos identificados a partir de las muestras recogidas a lo largo del experimento en cada una de las parcelas experimentales de CCT y Almería pertenecientes a los tratamientos *Amblyseius swirskii* y control: Control CCT (a); *A. swirskii* CCT (b); Control Almería (c); *A. swirskii* Almería (d).

4.3.4. Trips

El número de adultos de trips capturados en las trampas adhesivas azules indicó una presión similar de trips entre los tratamientos en las dos zonas de cultivo (CCt: $F=0,318$; g.l.=1, 3; $P=0,31$; Almería: $F=0,639$; g.l.= 1,3; $P=0,26$). La media de capturas fue de $2,1 \pm 0,17$ y $1,7 \pm 0,11$ y $27,3 \pm 2,76$ y $24,4 \pm 2,33$ en los tratamientos control y *A. swirskii* de CCt y Almería, respectivamente.

En CCt la población de trips no fue diferente en los dos tratamientos comparados ($F=0,139$; g.l.= 1, 107; $P=0,710$). En ambos casos, la densidad poblacional fue relativamente baja durante las primeras semanas del experimento, incrementándose a partir de la semana 11 y alcanzando su máxima densidad poblacional en la mitad del periodo experimental (Fig. 4.9 a), para descender posteriormente de forma progresiva hasta el final.

De igual modo, en Almería tampoco se encontraron diferencias en la abundancia de trips entre los tratamientos control y *A. swirskii* ($F=1,645$; g.l.= 1, 63; $P=0,204$). Aquí, en ambos tratamientos el número de trips por flor se incrementó inicialmente hasta la tercera semana del experimento (Fig. 4.9 b), decreciendo posteriormente hasta valores próximos a cero individuos por flor a partir de la semana 32.

4.3.5. *Orius* spp.

La densidad poblacional de *Orius* spp. por flor se incrementó tras las primeras introducciones de *O. laevigatus* en ambos tratamientos en las dos zonas productoras. En CCt, el número de *Orius* spp. por flor creció de forma continuada a lo largo de todo el experimento (Fig. 4.10 a) en ambos tratamientos, si bien fue significativamente superior en el que se introdujo *A. swirskii* ($F=5,827$; g.l.= 1, 107; $P=0,004$).

En Almería, el número de antocóridos por flor también se incrementó en ambos tratamientos desde la introducción de *O. laevigatus* hasta la semana 32 (Fig. 4.10 b), descendiendo posteriormente también en ambos tratamientos. En esta zona la abundancia de antocóridos fue también mayor en el tratamiento con introducción de *A. swirskii* ($F=24,138$, g.l.= 1, 63; $P<0,001$).

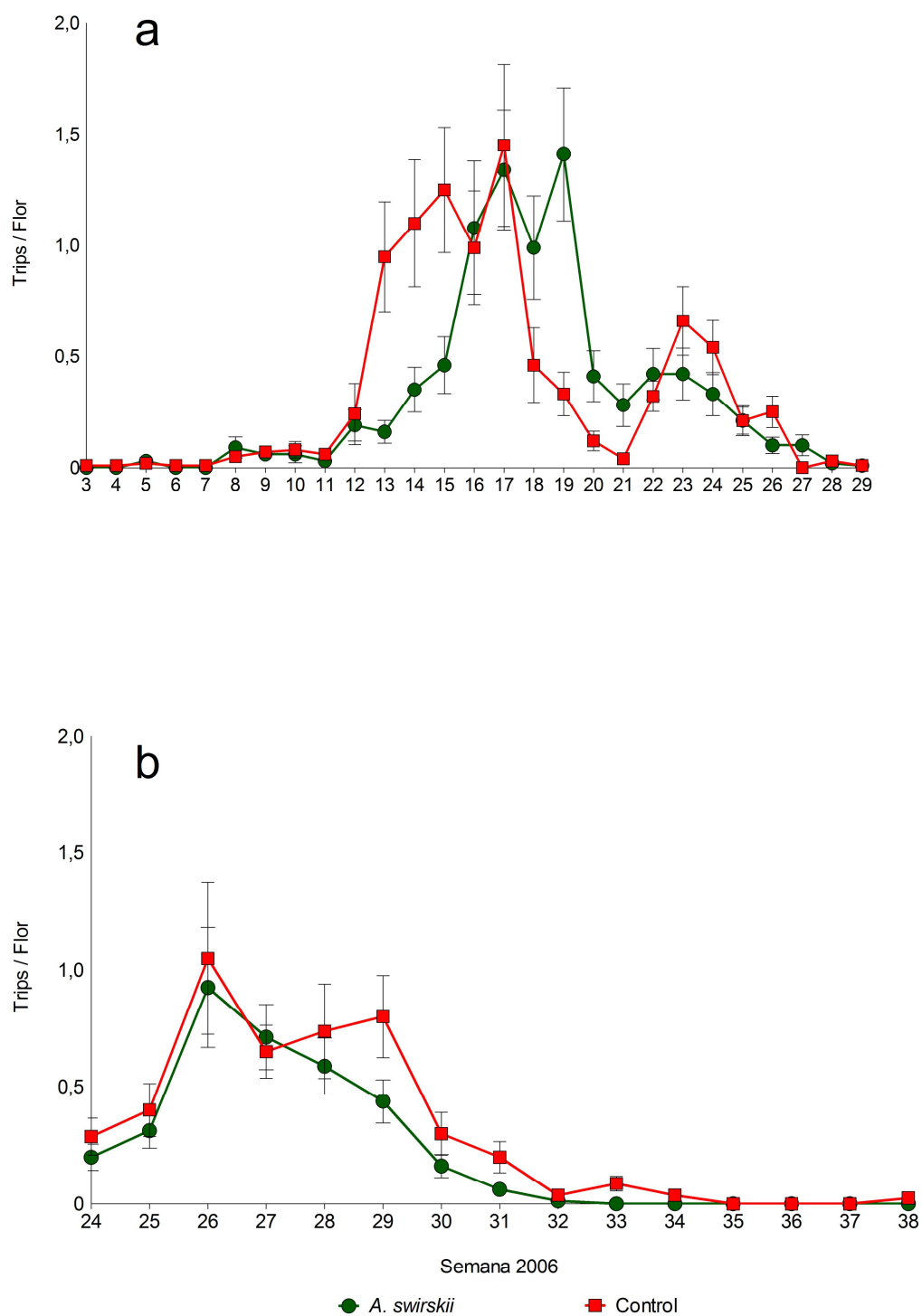


Figura 4.9. Número (Media \pm Error estándar) de formas móviles de trips por flor en cada una de las semanas en el tratamiento *Amblyseius swirskii* y Control en CCt (a) y Almería (b).

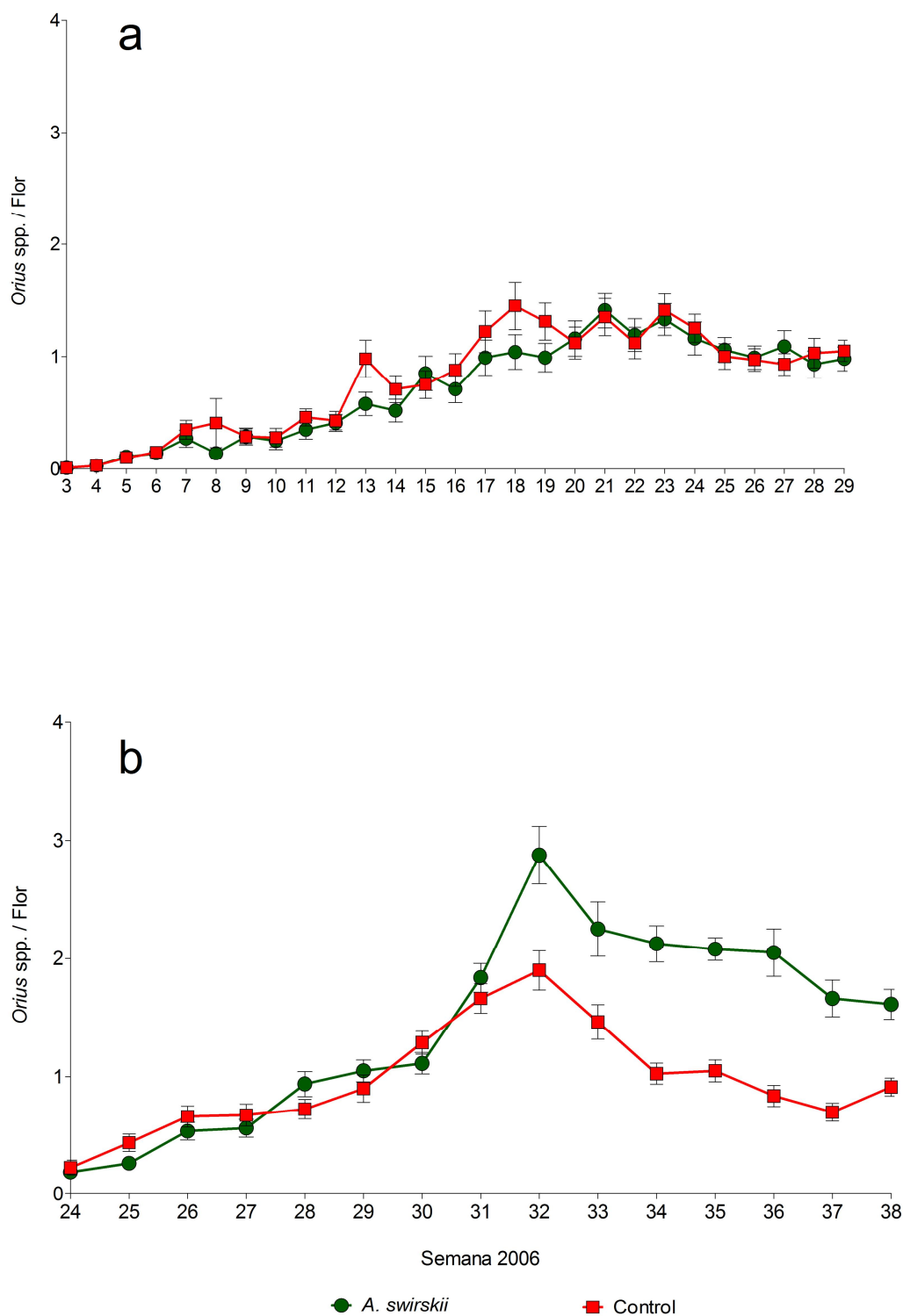


Figura 4.10. Número (Media \pm Error estándar) de *Orius* spp. por flor en cada una de las semanas en el tratamiento *A. swirskii* y Control en CCt (a) y Almería (b).

4.3.6. Uso de plaguicidas

En las parcelas con introducción de *A. swirskii* no fue necesario la aplicación de insecticidas frente a *B. tabaci*, mientras que en las parcelas control dichas aplicaciones fueron, a partir de la mitad del experimento cuando la población de la plaga fue más elevada, necesarias en las dos zonas de cultivo (Tabla 4.3 y 4.4). La frecuencia de las aplicaciones varió en las parcelas experimentales de CCt entre 0,2 a 0,5 aplicaciones por semana (media $0,4 \pm 0,06$ aplicaciones/semana) y entre 0,6 y 0,8 aplicaciones por semana en las parcelas experimentales de Almería (media $0,7 \pm 0,02$ aplicaciones/semana). En ningún caso fueron necesarias aplicaciones frente a trips.

El impacto de estas aplicaciones sobre la población de *E. mundus* fue considerable en las dos zonas de estudio, mientras que resultaron inocuas para las poblaciones de *O. laevigatus* y *N. cucumeris* (Tabla 5).

Tabla 4.5. Índice de impacto (PII) de las aplicaciones realizadas durante los experimentos sobre *Orius laevigatus*, *Neoseiulus cucumeris* y *Eretmocerus mundus* en Campo de Cartagena y Almería. Real es el PII observado y Min y Max son los valores máximos y mínimos, respectivamente, para el índice PII si el impacto de los plaguicidas empleados, según se muestra en la tabla 4.2, fuese sobre todos los estados de desarrollo de los diferentes enemigos naturales 1 (inocuo) ó 4 (muy dañino), respectivamente. Impacto es el valor obtenido, en porcentaje, al interpolar el PII observado respecto del Min y Max.

	Campo de Cartagena				Almería			
	Real	Min	Max	Impacto	Real	Min	Max	Impacto
<i>E. mundus</i>	1,84	0,75	3,15	45,2%	3,93	1,43	6,14	53,0%
<i>N. cucumeris</i>	1,16	1,13	4,54	1,1%	2,93	2	8,07	15,3%
<i>O. laevigatus</i>	1,09	1,09	4,35	0,0%	2,79	1,93	7,71	14,8%

4.3.7. Coste del control de plagas

El coste total del control (químico y biológico) de mosca blanca y trips fue de media un $0,22 \text{ "/m}^2$ en CCt donde se liberó *A. swirskii* y $0,28 \text{ "/m}^2$ en las parcelas del tratamiento control, de los que $0,067 \text{ "/m}^2$ se invirtieron en los plaguicidas empleados. En la tabla 4.3 se muestra dicho coste total en cada parcela experimental de CCt. En Almería el control de ambas plagas costó de media un total de $0,43 \text{ "/m}^2$ y $0,75 \text{ "/m}^2$

en el tratamiento *A. swirskii* y control, respectivamente. Esta diferencia radica en la inversión necesaria en plaguicidas y *E. mundus*. En las parcelas control el gasto en insecticidas ascendió a 0,074 "/m² y la inversión en *E. mundus* fue diez veces superior (Control: 0.26 "/m²; *A. swirskii*: 0.02 "/m²). En la tabla 4.4 se detallan los costes totales para cada parcela experimental en Almería.

Todos los costes han sido calculados excluyendo los costes de aplicación, tanto para los organismos de control biológico como para los plaguicidas. Los precios para dichos cálculos han sido obtenidos a partir de la media de los precios existentes en el mercado local para cada uno de productos a base de los agentes de control biológico o los plaguicidas empleados.

4.4. Discusión

La población de mosca blanca se redujo de forma significativa como resultado de la introducción de *A. swirskii* en las dos zonas productoras donde se realizó el estudio, demostrando que su liberación mejora el control de este fitófago. Nomikou *et al.* (2001) y Calvo *et al.* (2009) también observaron una reducción significativa de la población de mosca blanca cuando liberaron *A. swirskii* sobre pepino en condiciones de laboratorio y en pimiento en condiciones de semicampo, respectivamente. Estos últimos autores demostraron además que el uso combinado de *A. swirskii* y *E. mundus* incrementa de forma significativa la eficacia frente a mosca blanca con respecto a una estrategia basada únicamente en el empleo de este parasitoide, lo que concuerda con los resultados de este trabajo. Dicha estrategia era, previamente a la realización del presente trabajo, considerada como la más eficaz frente a *B. tabaci*, según estudios previos realizados (Stansly *et al.* 2005). El porcentaje de parasitismo observado demostró, sin embargo, que *E. mundus* también contribuyó al control de *B. tabaci*, si bien de forma variable dependiendo del tratamiento y el área productora. Factores ambientales (entre zonas productoras) o el ratio parasitoide-hospedador en el momento de la suelta (entre tratamientos) pudieron causar tal fenómeno.

Por otro lado, en el tratamiento con introducción de *A. swirskii* se observó una población más elevada de fitoseidos. Además, este fitoseido fue la especie más abundante, incluso en aquellos invernaderos de CCT donde se liberó además *N. cucumeris*. La abundancia de esta última especie fue relativamente baja en estos invernaderos. Se ha demostrado que *A. swirskii* puede actuar como un depredador intra-gremial de *N. cucumeris* (Buitenhuis *et al.* 2008) y que es capaz de desarrollarse

mejor que *N. cucumeris* alimentándose de trips (van Houten *et al.* 2005; Messelink *et al.* 2006). Estos resultados explicarían la baja abundancia, así como el paulatino desplazamiento de *N. cucumeris* en los invernaderos donde se liberó junto a *A. swirskii*. Así pues, presumiblemente la introducción de *N. cucumeris* en algunos de los invernaderos pertenecientes al tratamiento *A. swirskii* en CCt no tuvo ninguna influencia destacable en los resultados del presente estudio, lo que concuerda con los resultados en Almería donde en ninguna de las parcelas se realizó un uso combinado de estas dos especies de fitoseidos. Resulta interesante que en las parcelas de Almería con introducción de *N. cucumeris* fuese *N. barkeri* la especie más abundante. Esta última suele aparecer de forma natural en los cultivos hortícolas almerienses (Rodríguez *et al.* 2002), se desarrolla de forma semejante a *N. cucumeris* alimentándose de trips (Messelink *et al.* 2006) y es capaz de alimentarse de otras plagas del pimiento como *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) o *P. latus* y de polen (Fan y Pettit, 1994a y 1994b). Además, Brodsgaard *et al.* (2002) observaron que *N. barkeri* era capaz de desplazar completamente a *N. cucumeris* en parcelas donde realizaron liberaciones conjuntas de ambos depredadores. Todo ello podría explicar el porqué *N. barkeri* fue la especie más abundante en las parcelas donde se introdujo *N. cucumeris* en Almería. Este desplazamiento no se produjo sobre las poblaciones de *A. swirskii*, presumiblemente debido a las causas citadas anteriormente y por las que *A. swirskii* resultaría un competidor más fuerte que *N. cucumeris*.

El presente trabajo se ha realizado directamente en invernaderos comerciales de pimiento. En estas condiciones, un enemigo natural debe desenvolverse en un medio más complejo, interactuar con otros organismos y presentar un repertorio completo de comportamientos reproductivos y de búsqueda (localización y explotación de su nicho). Además, esto ha de realizarlo en un ambiente con condiciones más variables (temperatura, humedad, fotoperiodo, intensidad lumínica). Junto a todo ello, las prácticas culturales y el manejo del cultivo (fertilización, control de enfermedades, poda, entutorado, etc.), que no pueden ser simulados de forma totalmente fidedigna en condiciones de semicampo, suponen un reto adicional para los enemigos naturales. De este modo, el presente estudio demuestra la capacidad de *A. swirskii* para establecerse y reproducirse adecuadamente en invernaderos comerciales de pimiento. Esto coincide con resultados previos en los que ya se demostró, pero en condiciones de semicampo, la capacidad de este fitoseido para establecerse en este cultivo (Hogerbrugge *et al.* 2005; Belda y Calvo 2006; Calvo *et al.* 2009).

Al contrario de lo sucedido con la mosca blanca, el control de trips no fue más eficaz cuando se liberó *A. swirskii*. Este fenómeno pudo venir provocado por la utilización de *O. laevigatus*, el cual pudo enmascarar el posible efecto del fitoseido sobre la población de trips. Resultados que apuntarían en esta dirección serían los obtenidos en otros estudios como los realizados por Belda y Calvo (2006) y Weintraub *et al.* (2011), quienes observaron como la población de trips fue menor en las parcelas experimentales tratadas con *A. swirskii* con respecto a aquellas en las que no se liberó el depredador. Además, estos últimos autores observaron que la población de trips no fue diferente entre parcelas que fueron tratadas con *A. swirskii* pero que recibieron dos dosis de suelta diferentes de *O. laevigatus*, motivo por el que sugirieron que la dosis de suelta del antocórido podía ser optimizada cuando se usaba en combinación con el fitoseido. Además, van Houten *et al.* (2005) y Messelink *et al.* (2006) demostraron que *A. swirskii* era capaz de alimentarse de *F. occidentalis*. En cualquier caso, Belda y Calvo (2006) recomendaron la utilización de *O. laevigatus* en combinación de *A. swirskii*, dado que únicamente empleando el fitoseido las poblaciones de trips, aunque inferiores con respecto a parcelas no tratadas con el fitoseido, seguían siendo relativamente elevadas debido a las características de *F. occidentalis* como vector del virus TSWV.

La abundancia de *Orius* spp. fue superior en las parcelas con introducción de *A. swirskii*. Urbaneja *et al.* (2003) demostraron que la introducción de *N. cucumeris* en el cultivo mejoraba el establecimiento de *O. laevigatus* en pimiento, ya que este último empleaba a los fitoseidos como fuente alternativa de alimento. De este modo, la mayor población observada del antocórido en el tratamiento con introducción de *A. swirskii* podría ser como respuesta a la mayor abundancia de fitoseidos en este tratamiento, es decir, a una mayor disponibilidad de presa.

La utilización de *A. swirskii* incorporaría una serie de mejoras de tipo técnico a la estrategia MIP de pimiento actual. Por un lado, con respecto al control de mosca blanca, el parasitoide *E. mundus* requiere de la presencia de la plaga para establecerse en el cultivo, mientras que *A. swirskii* puede hacerlo incluso antes de la aparición de la plaga gracias a su capacidad para desarrollarse a expensas de diversas fuentes de alimento. Entre estas encontramos polen y otras plagas comunes en pimiento como *T. urticae*, *P. latus* y *F. occidentalis* (Swirski *et al.* 1967; El-Laithy y Fouly 1992; Momen y El-Saway 1993; Nomikou *et al.* 2003; van Houten *et al.* 2005; Messelink *et al.* 2006; Stansly y Castillo, 2009). Así pues, las poblaciones de *A. swirskii* pueden desarrollarse antes de que la mosca blanca aparezca en el cultivo,

mejorando así las posibilidades de control. Por otro lado, *E. mundus* parasita todos los estadios ninfales de *B. tabaci* salvo el de pupa, teniendo preferencia por el segundo y tercer estadio ninfal (Foltyn y Gerling 1985; Jones y Greenberg 1998; Urbaneja y Stansly 2004). Por su parte, *A. swirskii* depreda fundamentalmente huevos y ninfas N1 de mosca blanca (Nomikou *et al.* 2001, 2004). Así pues, ambos enemigos naturales resultan complementarios, lo que mejora el control de la plaga. Además, el presente trabajo ha demostrado que la introducción de *A. swirskii* hace innecesaria la utilización de *N. cucumeris*. Esto supone una ventaja extra. Los costes y complejidad de la estrategia de control biológico se reducen, dado que se reducen el número de especies de enemigos naturales empleadas. Además, se utiliza un mismo enemigo natural frente a dos plagas (mosca blanca y trips), resultando además más eficaz frente a ellas (van Houten *et al.* 2005; Messelink *et al.* 2006; Calvo *et al.* 2009) y presumiblemente se mejora el establecimiento de *O. laevigatus*. Pese a esta hipotética depredación del antocórido sobre el fitoseido, el control de mosca blanca no se vería afectado, dado que el primero prefiere las flores y por tanto sus presas potenciales serían, *a priori*, aquellos fitoseidos que se localizaran allí.

Otra ventaja con la incorporación de *A. swirskii* sería de tipo económico. Los costes del control de mosca blanca y trips se redujeron como respuesta a la introducción de *A. swirskii*. El ahorro se produjo gracias a la reducción de la dosis de suelta de *E. mundus*, como anteriormente comprobaron Calvo *et al.* (2009) y la no utilización de plaguicidas. La reducción del uso de plaguicidas tiene además una serie de implicaciones: menor dependencia por los agentes de control químico, cuyo número ahora es más reducido por las pérdidas de eficacia y restricciones de uso por los gobiernos y mercados; menor riesgo de generación de resistencias y reducción del riesgo para los productores, consumidores y el medio ambiente; frutos libres de residuos químicos que suelen ser más apreciados y presentar una mayor demanda, lo que facilita su venta y puede incrementar su precio; reducción del impacto nocivo de los fitosanitarios sobre las poblaciones del resto de enemigos naturales presentes en el cultivo, lo que mejora el control de las diversas plagas.

Finalmente los resultados observados en el tratamiento control reflejan la situación actual en los invernaderos comerciales donde se emplean estrategias MIP basadas en el uso de agentes de control biológico. En este sentido, se observó una densidad poblacional media de mosca blanca superior en las parcelas de Almería que en los invernaderos de CCt. En CCt, la temperatura es relativamente baja después del trasplante y los ciclos de cultivo son más estacionales y discontinuos. En Almería, por

el contrario, las altas temperaturas después del trasplante, la sucesión de ciclos de cultivo de diferentes especies cultivadas hospedadoras de la plaga e incluso el solapamiento de cultivos de pimiento con diferentes fechas de plantación posibilitan inmigraciones continuas y fuertes hacia el interior de los invernaderos y un desarrollo muy rápido de la plaga. Esto provoca que en Almería aparezcan al inicio del ciclo de cultivo elevadas densidades de mosca blanca que dificultan su control mediante la aplicación de programas MIP basados en el uso de enemigos naturales. En CCt, sin embargo, se consigue un control eficaz de la plaga mediante la aplicación de dichos programas. Esta situación explica las diferencias en cuanto a la evolución de la implantación de este tipo de programas entre estas dos áreas productoras (van der Blom 2008).

Los resultados del presente trabajo han demostrado que *A. swirskii* es una herramienta útil en ambas áreas productoras. Por un lado, en CCt con su empleo es posible controlar la mosca blanca únicamente mediante el empleo de agentes de control biológico. Por otro lado, en Almería, donde históricamente la mosca blanca no ha podido ser controlada eficazmente empleando solo *E. mundus*, *A. swirskii* sería la llave para incrementar la superficie en la que se aplican programas MIP. Esto se ha demostrado por el reciente incremento de la superficie utilizando técnicas de lucha biológica desde que *A. swirskii* comenzó a utilizarse en invernaderos comerciales de pimiento. Dicha superficie ha pasado desde aproximadamente el 5 % en 2005 hasta prácticamente el 100 % en los últimos años (van der Blom, 2008). Así pues, nuestros datos explican cómo la incorporación de *A. swirskii* a la estrategia de control biológico de pimiento ha contribuido de forma decisiva a un elevado incremento de la superficie en la que se aplican programas MIP en los invernaderos de pimiento españoles y que podría tener el mismo efecto en otros lugares.

4.5. Bibliografía

- Abbott, W.A., 1925. A method to computing the effectiveness of an insecticide. *Journal of Economic Entomology* 18. 265-267.
- Anónimo, 2005. Side Effects Guide. <http://side-effects.koppert.nl>. Fecha de Consulta: Noviembre 2010.
- Bielza, P., 2008. Insecticide resistance management strategies against the western flower thrips, *Frankliniella occidentalis*. *Pest Management Science* 64. 1131-1138.
- Belda, J.E., Calvo, J., 2006. Eficacia de *Amblyseius swirskii* Athias-Henriot (Acari: Phytoseiidae) en el control biológico de *Bemisia tabaci* (Genn.) (Hom.: Aleyrodidae) y *Frankliniella occidentalis* (Pergande) (Thys.: Thripidae) en pimiento en condiciones de semicampo. *Boletín Sanidad Vegetal Plagas* 32(3). 283-296.
- Brodsgaard, F., Stengaard, L., 2002. Effect of *Amblyseius cucumeris* and *Amblyseius barkeri* as biological control agents of *Thrips tabaci* on glasshouse cucumbers. *Biocontrol Science and Technology* 2(3). 215-223.
- Buitenhuis, R., Shipp, L., Scott-Dupree, C., 2010. Intra-guild vs extra-guild prey: effect on predator fitness and preference of *Amblyseius swirskii* (Athias-Henriot) and *Neoseiulus cucumeris* (Oudemans) (Acari: Phytoseiidae). *Bulletin of Entomological Research* 100. 167-173.
- Calvo, F.J., Bolckmans, K., Belda, J.E., 2009. Development of a biological control-based IPM method for *Bemisia tabaci* for protected sweet pepper crops. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 133. 9-18.
- CEE, 1991. Annex 1 of Council Directive 91/414/CEE. *Bulletin of European Union* 230. 1-32.
- Collier, T., van Steenwyk, R., 2004. A critical evaluation of augmentative biological control. *Biological Control* 31. 245-256.
- Crawley, 2002. *Statistical Computing. An Introduction to Data Analysis Using S-Plus*. Wiley & Sons Press, Chichester, U.K, pp. 761.

- El-Laithy, A.Y.M., Fouly, A.H., 1992. Life table parameters of two phytoseiid predators *Amblyseius scutalis* (Athias-Henriot) and *A. swirskii* Athias . Henriot. Journal of Applied Entomology 113. 8. 12.
- Espinosa, P.J., Bielza, P., Contreras, C., Lacasa, A., 2002. Insecticide resistance in field populations of *Frankliniella occidentalis* (Pergande) in Murcia (south-east Spain). Pest Management Science 58. 967-971.
- Fan, Y., Pettit, F.L., 1994a. Functional response of *Neoseiulus barkeri* Hughes on two-spotted spider mite (Acari: Tetranychidae). Experimental and Applied Acarology 18(10). 613-621.
- Fan, Y., Pettit, F.L., 1994b. Biological control of broad mite *Polyphagotarsonemus latus* (Banks), by *Neoseiulus barkeri* Hughes on Pepper. Biological Control 4(4). 390-395.
- Fernández, E., Gravalos, C., Haro, P.J., Cifuentes, D., Bielza, P., 2009. Insecticide resistance status of *Bemisia tabaci* Q-biotype in south-eastern Spain. Pest Management Science 65. 885-891.
- Ferrero, M., Gigot, C., Tixier, M.S., van Houten, Y., Kreiter, S., 2010. Egg hatching response to range of relative humidities for six species of predatory mites (Acari: Phytoseiidae). Entomologia Experimentalis et Applicata 135. 237-244.
- Foltyn, S., Gerling, D., 1985 The parasitoid of the aleyrodid *Bemisia tabaci* in Israel: development, host preference and discrimination of the aphelinid wasp *Eretmocerus mundus*. Entomologia Experimentalis et Applicata 38. 255-260.
- Hoogerbrugge, H., Calvo, J., van Houten, Y., Bolckmans, K., 2005. Biological control of the tobacco whitefly *Bemisia tabaci* with the predatory mite *Amblyseius swirskii* in sweet pepper crops. IOBC/wprs Bulletin 28 (1). 119-122.
- Jones, W.A., Greenberg, S.M., 1998. Suitability of *Bemisia argentifolii* (Homoptera: Aleyrodidae) instars for the parasitoid *Eretmocerus mundus* (Hymenoptera: Aphelinidae). Environmental Entomology 27. 1569-1573.
- Lacasa, A., Contreras, J., 1993. Comportamiento de *Frankliniella occidentalis* en la transmisión del virus del bronceado del tomate: planteamientos para su control. Phytoma España 50. 33-39.

- MARM, 2009. Registro de Productos Fitosanitarios. Ministerio de Medio Ambiente Medio Rural y Marino. <http://www.mapa.es/es/agricultura/pags/fitos/registro/menu.asp>. Consulta Enero 2006.
- Messelink, G.J., van Steenpaal, S.E.F., Ramakers, P.M.J., 2006. Evaluation of phytoseiid predators for control of western flower thrips on greenhouse cucumber. *Biocontrol* 51. 753-768.
- Messelink, G.J., van Maanen, R., van Steenpaal, S.E.F., Janssen, A., 2008. Biological control of thrips and whiteflies by a shared predator: Two pests are better than one. *Biological Control* 44. 372-379.
- Momen, F.M., El-Saway, S.A., 1993. Biology and feeding behavior of the predatory mite *Amblyseius swirskii* (Acari: Phytoseiidae). *Acarologia* 34(3). 199-204.
- Nauen, R., Denholm, I., 2005. Resistance of insect pests to neonicotinoid insecticides: current status and future prospects. *Archives of Insect Biochemistry and Physiology* 58(4). 200-215.
- Nomikou, M., Janssen, A., Schraag, R., Sabelis, M.W., 2001. Phytoseiid predators as potential biological control agents for *Bemisia tabaci*. *Experimental and Applied Acarology* 25. 271-291.
- Nomikou, M., Janssen, A., Schraag, R., Sabelis, M.W., 2003. Phytoseiid predators of whiteflies feed and reproduce on non-prey food sources. *Experimental and Applied Acarology* 31. 15- 26.
- Nomikou, M., Janssen, A., Schraag, R., Sabelis, M.W., 2004. Vulnerability of *Bemisia tabaci* imatures to phytoseiid predators: Consequences for oviposition and influence of alternative food. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 110. 95-102.
- Rodríguez, M.P., Sánchez, M.M., Navarro, M., Aparicio, V., 2002. *Amblyseius*, depredador autóctono en cultivo protegido. *Horticultura Internacional* 38. 70-71.
- Stansly, P.A., Castillo, J., 2009. Control of broad mite, *Polyphagotarsonemus latus* and the whitefly *Bemisia tabaci* in open field pepper and eggplant with predaceous mites. *IOBC/wprs Bulletin* 49. 203-206.

- Stansly, P.A., Sánchez, P.A., Rodríguez, J.M., Cañizares, F., Nieto, A., López, M.J., Fajardo, M., Suárez, V., Urbaneja, A., 2004. Prospects for biological control of *Bemisia tabaci* (Homoptera, Aleyrodidae) in greenhouse tomatoes of southern Spain. *Crop Protection* 23. 701-712.
- Stansly, P.A., Calvo, F.J., Urbaneja, A., 2005. Augmentative biological control of *Bemisia tabaci* biotype Q in Spanish greenhouse pepper production using *Eretmocer* spp. *Crop Protection* 24. 829-835.
- Stiling, P., Cornelissen, T., 2005. What makes a successful biological control agent? A meta-analysis of biological control agent performance. *Biological Control* 34, 236-246.
- Swirski, E., Amitai, S., Dorzia, N., 1967. Laboratory studies on the feeding, development and reproduction of the predaceous mites *Amblyseius rubini* Swirski and Amitai and *Amblyseius swirskii* Athias (Acarina: Phytoseiidae) on various kinds of food substances. *Israel Journal of Agricultural Research* 17(2). 101-118.
- Urbaneja, A., Stansly, P.A., 2004. Host suitability of different instars of the whitefly *Bemisia tabaci* biotype Q for *Eretmocer* *mundus*. *Biocontrol* 49. 153-161.
- Urbaneja, A., Stansly, P.A., Calvo, J., Beltrán, D., Lara, L., van der Blom, J., 2003. *Eretmocer* *mundus*: control Biológico de *Bemisia tabaci*. *Phytoma España* 144. 139-142.
- Van der Blom, J., 2008. Pimiento bajo abrigo. En: *Control Biológico de Plagas agrícolas*. Ed. Jacas, J.A., Urbaneja, A. Phytoma España. Valencia (España). 496 pp.
- Van Houten, Y.M., Ostlie, M.L., Hoogerbrugge, H., Bolckmans, K., 2005. Biological control of western flower thrips on sweet pepper using the predatory mites *Amblyseius cucumeris*, *Iphiseius degenerans*, *A. andersoni* and *A. swirskii*. *IOBC/wprs Bulletin* 28(1). 283. 286.
- Van Lenteren, J.C., 2002. Success in Biological Control of Arthropods by Augmentation of Natural enemies. In: G. Guff, S.D. Wratten (Ed.) *Biological Control: Measures of Success*. Springer Press, Berlin, Germany. pp. 77-104.

Weintraub, P., Pivonia, S., Steinberg, S., 2011. How many *Orius laevigatus* are needed for effective western flower thrips, *Frankliniella occidentalis*, management in sweet pepper? Crop Protection 30. 1443-1448.